

SPECIAL TOPIC

# *Energy sufficiency:*

Conceptual considerations,  
modeling and scenarios  
for less energy  
consumption

*Energiesuffizienz:  
Konzeptionelle Überlegungen, Modellierung und Szenarien  
für weniger Energieverbrauch*

Edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius



INTRODUCTION

# Exploring energy sufficiency: New challenges and options in times of crisis

Benjamin Best\*<sup>1</sup> , Michaela Christ<sup>2</sup> , Tilman Santarius<sup>3</sup> , Frauke Wiese<sup>4</sup> 

**Abstract** • The war in Ukraine is changing the political landscape at breakneck speed. How should politics and society react to high energy prices and a precarious dependence on fossil fuels imports? Can modern societies get by with much less energy? Energy sufficiency can play an important role in answering these questions. The contributions in this Special topic explore sufficiency as an interdisciplinary research topic for energy modeling, scenarios, and policy.

**Energiesuffizienz erforschen:**

*Neue Herausforderungen und Chancen in Krisenzeiten*

**Zusammenfassung** • Der Krieg in der Ukraine verändert die politischen Prämissen in rasender Geschwindigkeit. Wie sollen Politik und Gesellschaft auf hohe Energiekosten und eine fatale Abhängigkeit von fossilen Energieimporten reagieren? Können moderne Gesellschaften mit viel weniger Energie auskommen? Energiesuffizienz kann eine wichtige Rolle bei der Beantwortung dieser Fragen spielen. Die Beiträge in diesem Special topic erforschen Suffizienz als einen interdisziplinären Forschungsgegenstand für Energiemodellierung, -szenarien und -politik.

**Keywords** • energy sufficiency, energy descent, co-benefits, energy demand, sufficiency policy

*This article is part of the Special Topic “Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>*

## Introduction

Sufficiency as a general sustainability strategy is a well-known concept (Huber 1995; Sachs 1993). However, despite being a frequent subject of debate in science and civil society, it is not well established in the political arena (Best 2022; Zell-Ziegler et al. 2021). In contrast to efficiency and consistency, sufficiency aims for absolute reductions. In particular, the challenge of mitigating climate change means that demand-side policies must be developed with ever greater urgency. Moreover, the current energy crisis, triggered by Putin’s war against Ukraine, reveals the structural dependencies of industrialised countries on fossil fuels; consequently, it calls for a rapid reduction in energy use by industry and households (Autor:innengruppe Energiesuffizienz 2022). Scientific evidence of the potential of demand-side policies calls for policy makers to develop sufficiency policies (Skea et al. 2022).

Taking the German transport sector as an example: growth prohibits any progress in terms of emission reductions. In 2009, the stock of cars was 41.3 million; 12 years later this already huge number had increased by 7.2 million to 48.5 million vehicles registered on 01 January 2022 in Germany (KBA 2022). What is worse, not only did the number of cars increase but also their size, weight and power, with an increasing share of new cars being so-called sports utility vehicles (SUVs). The growth in the number of registered cars in Germany is three times the number of registered electric cars in the country. Currently, only 0.6 million battery-electric vehicles and 1.7 million hybrid-electric vehicles are registered in Germany. Sufficiency means reducing the stock of cars: this strategy is acknowledged in all cli-

\* Corresponding author: [benjamin.best@wupperinst.org](mailto:benjamin.best@wupperinst.org)

<sup>1</sup> Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal, DE

<sup>2</sup> Norbert Elias Center for Transformation Design & Research (NEC), Europa-Universität Flensburg, Flensburg, DE

<sup>3</sup> Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und Technischen Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre, Berlin, DE

<sup>4</sup> Abteilung Energie- und Umweltmanagement, Europa-Universität Flensburg, Flensburg, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).

<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>

Received: May 16, 2021; revised version accepted: Jun. 01, 2022;

published online: Jul. 18, 2022 (editorial peer review)

mate neutrality scenarios in Germany (Lübbers et al. 2022) but it is absent from current German policy. Sufficiency also means reducing the size and power of cars to a suitable level for fulfilling indispensable tasks: electric powered SUVs are simply not sustainable.

Sufficiency is a key policy strategy for enabling the technological transformation of sectors to become climate neutral over the next decades (Wiese et al. 2022 b). Sufficiency can serve as a guiding principle for technological strategies ('sufficiency first' principle: Böcker et al. 2021; Saheb 2021). There is a lot of discussion and research on sufficiency, leading to a growing body of literature and to conceptual complexities. Increasing interest

Kopatz 2016; Schneidewind and Zahrnt 2014; Spangenberg and Lorek 2019). Sufficiency policy – which is, like other policy fields, an instrument mix – addresses the structural generation of energy demands as an essential component of sustainability transitions. It should be included more thoroughly in modeling, scenarios and policy for energy, transport, buildings, industry and agri-food (Wiese et al. 2022 b; Zell-Ziegler et al. 2021; Zell-Ziegler and Förster 2018). Many sufficiency policies are present in non-energy sectors such as agri-food or production/consumption, including for example the extension of warranty periods, repairability, and climate-friendly menus in public canteens.

*Sufficiency also means reducing the size and power of cars to a suitable level for fulfilling indispensable tasks: electric powered SUVs are simply not sustainable.*

in sufficiency strategy from scientists sharpens the need to define this strategy, which focuses not on technical solutions but on social innovations. In the context of sufficiency strategy, the consumption of resources and nature is not reduced by improving products or production processes, but by satisfying needs through other actions (e.g., travelling by public transport or bicycle instead of in one's own car).

### Different concepts of sufficiency

Sufficiency is a condition and a strategy: as a condition or state it is defined in relation to climate and ecological boundaries, and as a strategy it is a reflection of needs and changes in social practices (Sorrell et al. 2020). Researchers emphasise that sufficiency also relates to a minimum standard of needs satisfaction or well-being (Bierwirth and Thomas 2019; Spengler 2016). In contrast to efficiency and consistency, sufficiency means achieving resource savings and social justice through social innovation; that is, through changes in behaviour or resource use. Energy sufficiency is a relatively new term and scientific literature has not yet achieved a consensus on its definition. Most commonly, energy sufficiency "is the strategy of achieving absolute reductions of the amount of energy-based services consumed" (Zell-Ziegler et al. 2021, p. 2). Furthermore, it refers to a situation "where everyone has access to the energy services they truly need, not just want, whilst the impacts of the energy system do not exceed environmental limits" (Gynther 2021, p. 1).

Although sufficiency is conceptualised as individual downshifting by some (Paech 2020), the scientific community widely acknowledges that this does not represent the wider potential of sufficiency (Dengler and Schmelzer 2021; Kalt and Lage 2019;

The articles in this volume show that definitions of sufficiency also differ according to whether sufficiency is self-initiated or third party-initiated. Voluntary sufficiency practices (based on a reflection of needs) and policies enabling these actions may differ from sufficiency practices due to changed framework conditions (e.g., policy measures); and they are, of course, fundamentally different from energy poverty. For the design of a sufficiency-oriented policy mix, policy signals must be clear: for example, in terms of price instruments that push back unsustainable practices over the course of time. However, the policy design must also prioritise equity: if social aspects and distributive justice are not considered, demand-side policies that neglect lower-income households or reduce their living standards are likely to provoke a backlash, protest or even a crisis.

### Potential benefits of sufficiency

In the following, we summarise the potential contributions that sufficiency can make in terms of respecting planetary boundaries, resilience, well-being, justice and freedom. The benefits of sufficiency described briefly in the following are further elaborated by Wiese et al. (2022 a).

#### **Sufficiency appears crucial for avoiding the transgression of planetary boundaries**

Worsening socio-ecological crises, such as climate change and biodiversity loss, demonstrate the urgent need to develop ways of living and doing business that respect planetary boundaries and secure everybody's needs. The responsibility for developing such approaches lies primarily (but not solely) in the global north (Brand et al. 2021; Rockström et al. 2009). Given the most

recent IPCC estimations, industrialised countries must become climate neutral well before 2050 and achieve negative emissions (i.e., remove more green house gas (GHG) than they emit) in the second half of the 21st century. However, this may only be possible through geo-engineering or carbon capture and storage; both these technologies are highly uncertain and are broadly untested. Therefore, applying sufficiency strategies in addition to efficiency improvements and fully closed natural cycles (i.e., consistency strategy) not only increases the likelihood of remaining below 1.5° Celsius to 2° Celsius warming, but also decreases the dependence on risky technologies.

In addition to mitigating climate change, there are other boundaries – like land-system change and biosphere integrity – that need to be preserved. Some technological greenhouse gas abatement solutions face serious limitations because substantial amounts of energy and resources are needed to provide them. For example, the import of synthetic fuels and hydrogen require land area, resources and substantial amount of energy in the exporting countries along with substantial development of respective transport infrastructure. Sufficiency actions increase the solution space and the scope for other abatement actions which can, for example, reduce land-use pressures and the need for energy and resource imports.

### Sufficiency mitigates the unintended side effects of other sustainability strategies

Currently, the dominant strategies for mitigating climate change are the shift towards renewable energies and efficiency improvements. While efficiency and consistency strategies are indispensable, they both have drawbacks. Efficiency improvements may reduce energy demand per service unit but, at the same time, they can generate various rebound effects which counteract part (or all) of the savings potential (Santarius 2016; Sorrell 2009). If, however, individuals simultaneously pursue sufficiency (i.e., a strategy of voluntary downshifting and reflection on one's own needs), the application of efficient technologies is less likely to generate rebound effects.

Likewise, with regard to consistency strategies. Studies suggest that a shift towards renewable energies may lead to consumers – and prosumers with their own photovoltaic installations who enjoy low electricity prices – thinking that their level of energy consumption does not matter anymore (i.e., ‘the sun is always shining’). This could actually increase their demand (Galvin et al. 2021). However, if sufficiency is pursued in combination with a shift towards renewables, overall demand should not increase.

It should be noted that there is discussion in the literature about the possibility of sufficiency strategies also generating rebound effects. Parts of that discussion, however, confuse sufficiency with other kinds of absolute reduction in demand (Sorrell et al. 2020). For instance, if sufficiency is practiced due to external incentives (e.g., high energy prices or top-down directives), consumers may feel that their needs are not being met. It remains a matter of definition whether such situations should

be categorised under the umbrella of sufficiency (see our definition above). If sufficiency is practiced on the basis of voluntary downshifting and reflection on one's own needs, rebound effects are unlikely. However, there could be a micro-macro discrepancy (Santarius 2016): sufficiency-oriented practices by some consumer groups or countries could reduce energy prices globally and consequently lead to an increase in demand by other groups or in other countries (Alcott 2008).

### Sufficiency fosters sovereignty and resilience

Beyond contributing to climate and energy goals, sufficiency has the potential to increase the resilience of socio-economic systems. Knowing how to influence or change energy demand and social practices is important in situations in which demand reduction is imposed by external circumstances (Autor:innen-gruppe Energiesuffizienz 2022; Barth et al. 2022). For instance, sufficiency can support a policy strategy aimed at becoming less dependent and vulnerable in times of geopolitical uncertainty. This is evident in the current public debate about the war in Ukraine: it is claimed that sufficiency measures (e.g., turning down the heating or using public transport) could reduce the finances available to the Russians for their war effort and, at the same time, could help to stabilise the overall economy for as long as dependence on Russian oil and gas persists. Some even consider that sufficiency measures could make a direct contribution to peace. For instance, Italy's prime minister Mario Draghi suggested that “the question is between peace and having (...) air conditioning in summer” (AFP/The Local 2022).

More generally, using all the available strategies (beyond simply focusing on technological solutions) supports the energy transition by reducing energy demand and promoting energy sufficiency policies (Best and Hanke 2013). A combination of energy sufficiency with strategies for energy efficiency and renewable energies enhances the diversity of options and the flexibility of policy action (for sufficiency potentials in the housing sector, see Cordroch et al. 2021). A sufficiency perspective in the energy system means not exploiting potential supply levels to a maximum – thus increasing resilience by reducing the threat of supply shortfalls.

### Sufficiency increases health and well-being

Sufficiency can lead to many positive effects, often called multiple or co-benefits. These include positive effects on individual health (reduced stress/burnout), increased autonomy/liberty (Paech 2012), better personal finances (through spending less money), and having more time for family, friends and oneself. Hook et al. (2021) analyse 23 empirical studies on the connection between voluntary simplicity and well-being and confirm a consistent positive relationship. Based on expert judgement and a literature review, Creutzig et al. (2021) conclude that 79 % of 306 demand-side options have positive effects on well-being. The evidence of the positive impacts of compact-city designs, active travel modes, diet shifts, etc. on human well-being is ro-

bust. However, beyond the individual level, there is little evidence of effects in social dimensions such as political stability and social cohesion.

### Sufficiency is fast and cost-effective

Technologies and infrastructure for climate protection require investment, ramping-up, research and development. However, meeting carbon emissions targets implies a steep GHG reduction pathway, which makes the speed and cost of mitigation options crucial. Sufficiency often requires no investment or special infrastructure (or very little), which means it can be implemented rapidly. Modelling shows that demand-side options are often the most cost-effective in terms of costs per GHG reductions (Zozmann et al. 2021). Moreover, simply stopping measures that counteract sufficiency (such as fossil fuel subsidies or the expansion of airports etc.) can happen quickly under certain conditions and can free up funds that are urgently needed for investment in the energy transition.

The IEA tracks the progress of many climate mitigation technologies (IEA 2021) and has concluded that the deployment of renewable energies is not happening fast enough to meet the goals. In the wake of the current geopolitical crisis, the IEA has proposed many fast sufficiency options in its ‘10-Point Plans’ to reduce the EU’s reliance on Russian gas and oil (IEA 2022a; 2022b). Other sufficiency policies are long-term projects that require investment, new and/or modified infrastructure and also shifts in mindset. Changing urban settlement planning cannot happen fast, although policy goals can facilitate first small steps.

energy consumption and decrease energy prices (Barth et al. 2022). Economic institutions and policy makers should to create mechanisms for social redistribution when internalising the costs of energy consumption and environmental pollution (Held 2018).

### New research on energy sufficiency

Sufficiency policy and research has gained increasing levels of attention over recent years. This is the first and introductory article of a set of new publications on energy sufficiency in a Special topic in TATuP – Journal for Technology Assessment in Theory and Practice. The articles in this issue will explain in greater detail how energy sufficiency is a policy option for solving multiple crises. They will also deliver more detailed explanations about the multiple co-benefits of sufficiency: for instance, how it contributes to greater social justice. Calls for energy sufficiency policy are increasing, but so far political institutions and actors have shown little interest. In an effort to overcome the political inertia, this Special topic also includes an interview with the mayor of the city of Wuppertal).

The following challenges and contributions made by sufficiency are explored in this Special topic. First of all, in terms of the differences between sufficiency concepts and definitions, several articles contribute to widening the various perspectives and understandings of sufficiency. In their article, ‘Prosuming – energy sufficiency and rebound effects’, Nesrine Ouanes et al. conceptualise sufficiency at household level and analyse inter-

*Sufficiency can promote justice not only  
in terms of distribution, but also in terms of the recognition  
of basic human rights.*

### Sufficiency enhances justice and freedom

Sufficiency policy is prone to failing if it increases societal inequalities. At the same, however, sufficiency can play a key role in improving environmental and social justice. Consider a rapid reduction in emissions today. It would relieve the burden of climate protection for future generations. Sufficiency would also lead to a reduction in energy demand from those who use too much (‘overconsumption’). Consequently, sufficiency policy must aim to reduce the consumption levels of affluent people and societies (Burke 2020). It could even support an increase in demand from those who live on demand levels below what is considered a decent living (Darby and Fawcett 2018; Raworth 2017).

Moreover, sufficiency can promote justice not only in terms of distribution, but also in terms of the recognition of basic human rights. For instance, it can increase access to energy for the underprivileged by introducing measures that reduce

actions between energy self-sufficiency, load shift, demand reduction and energy flows from the grid. The same problem is addressed by Jonathan Coignard et al. in their article, ‘Are more solar panels always better?’, which introduces a new parameter (natural self-sufficiency). Several articles focus on modelling and scenarios: Patrick Zimmermann quantifies the energy sufficiency potentials for buildings in his article, ‘Transition pathways for the European building sector’, showing that a combination of sufficiency, efficiency and consistency has the highest potential across different impact categories. The contribution made by Carina Zell-Ziegler and Johannes Thema, ‘Impact chains for energy sufficiency policies’, conceptualises the inclusion of sufficiency measures into demand side-models and provides a deep dive into the co-benefits of energy sufficiency measures using a novel form of graphic representation. Jonas Lage and Marie Graef also consider co-benefits in their article, ‘Co-Benefits als



Katalysatoren für Suffizienzpolitik'; their analysis provides an overview of the co-benefits from sufficiency that citizens can expect. In the article, 'Wie neu ist Energiesuffizienz?', Nicole Hesse and Christian Zumbärgel present a historical analysis of changes in energy practices, tracking historical cases of energy savings and demonstrating the importance of multidisciplinary energy research.

**Funding** • The Federal Ministry of Education and Research (BMBF) is funding the project "EnSu – Energy Sufficiency in Energy Transition and Society" and the transdisciplinary project "Opportunities and Obstacles for Sufficiency-Oriented Urban Development (EHSS)" within the framework of the "Research for Sustainability" strategy (FONA) (<https://www.fona.de/en/>) as part of its Social-Ecological Research funding priority, funding nos. [01UU2004A, 01UU2004B] and [01UR1704A+B]. Responsibility for the content of this publication lies with the authors.

**Competing interests** • The authors declare no competing interests.

## References

- AFP/The Local (2022): 'Peace or air conditioning?' Italy vows to follow EU on Russian gas embargo. In: *The Local Italy*, 07.04.2022. Available online at <https://www.thelocal.it/20220407/peace-or-air-conditioning-italy-vows-to-follow-eu-on-russian-gas-embargo/>, last accessed on 20.05.2022.
- Alcott, Blake (2008): The sufficiency strategy. Would rich-world frugality lower environmental impact? In: *Ecological Economics* 64 (4), pp. 770–786. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.04.015>
- Autor:innengruppe Energiesuffizienz (2022): Energiesparen als Schlüssel zur Energiesicherheit. Suffizienz als Strategie. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6419202>
- Barth, Jonathan; Korinek, Lydia; Hafele, Jakob; Tomany, Sophia; Gran, Christoph (2022): Demand-side solutions to address energy shortages. How the EU and member states can boost energy savings through effective, socially balanced policy measures. Köln: Institute for future-fit economies. Available online at <https://zoe-institut.de/en/publication/demand-side-solutions-to-address-energy-shortages/>, last accessed on 20.05.2022.
- Best, Benjamin; Karl-Rudolf Korte (ed.) (2022): Kurzanalyse. Suffizienzansätze in der nationalen Energie- und Klimapolitik in Deutschland. Duisburg: regierungsforschung.de. Available online at [https://regierungsforschung.de/wp-content/uploads/2022/05/11052022\\_regierungsforschung.de\\_Best\\_Energiesuffizienz.pdf](https://regierungsforschung.de/wp-content/uploads/2022/05/11052022_regierungsforschung.de_Best_Energiesuffizienz.pdf), last accessed on 16.05.2022.
- Best, Benjamin; Hanke, Gerolf (2013): Die Energiewende aus wachstumskritischer Perspektive. In: Felix Ekardt and Bettina Henning (eds.): *Die deutsche „Energiewende“ nach Fukushima Der wissenschaftliche Diskurs zwischen Atomausstieg und Wachstumsdebatte. Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeitsforschung*. Marburg: Metropolis, pp. 255–283.
- Bierwirth, Anja; Thomas, Stefan (2019): Energy sufficiency in buildings. Concept paper. s.l.: European council for an energy efficient economy. Available online at [https://www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-buildings-final\\_v2.pdf](https://www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-buildings-final_v2.pdf), last accessed on 20.05.2022.
- Biesecker, Adelheid; Winterfeld, Uta von (2014): Extern? Weshalb und inwiefern moderne Gesellschaften Externalisierung brauchen und erzeugen. Jena: DFG-KollegforscherInnengruppe Postwachstumsgesellschaften. Available online at <https://d-nb.info/1072483270/34>, last accessed on 20.05.2022.
- Böcker, Maïke; Brüggemann, Henning; Christ, Michaela; Knak, Alexandra; Lage, Jonas; Sommer, Bernd (2021): *Wie wird weniger genug? Suffizienz als Strategie für eine nachhaltige Stadtentwicklung*. München: oekom. <https://doi.org/10.14512/9783962388041>
- Brand, Ulrich; Wissen, Markus; Jungwirth, Barbara (2021): *The imperial mode of living. Everyday life and the ecological crisis of capitalism*. London: Verso.
- Brischke, Lars-Arvid et al. (2015): *Energiesuffizienz. Strategien und Instrumente für eine technische, systemische und kulturelle Transformation zur nachhaltigen Begrenzung des Energiebedarfs im Konsumfeld Bauen/Wohnen*. Heidelberg: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Available online at [https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/energiesuffizienz\\_endbericht.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/energiesuffizienz_endbericht.pdf), last accessed on 20.05.2022.
- Burke, Matthew (2020): Energy-sufficiency for a just transition. A systematic review. In: *Energies* 13 (10), p. 2444. <https://doi.org/10.3390/en13102444>
- Cordroch, Luisa; Hilpert, Simon; Wiese, Frauke (2021): Why renewables and energy efficiency are not enough. The relevance of sufficiency in the heating sector for limiting global warming to 1.5 °C. In: *Technological Forecasting and Social Change* 175, p. 121313. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121313>
- Creutzig, Felix et al. (2021): Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being. In: *Nature Climate Change* 12, pp. 36–46. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01219-y>
- Darby, Sarah; Fawcett, Tina (2018): *Energy sufficiency. An introduction*. Concept paper. s.l.: European council for an energy efficient economy. Available online at <https://www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-introduction-final-oct2018.pdf>, last accessed on 20.05.2022.
- Dengler, Corinna; Schmelzer, Matthias (2021): Anmerkungen zu Niko Paech's Postwachstumsökonomie. Plädoyer für weniger Individualethik, mehr Kapitalismuskritik und eine intersektionale Gerechtigkeitsperspektive. In: *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik* 22 (2), pp. 191–195. <https://doi.org/10.5771/1439-880X-2021-2-191>
- Faber, Jasper et al. (2012): *Behavioural climate change mitigation options and their appropriate inclusion in quantitative longer term policy scenarios*. Main Report. Delft: European Commission, DG Climate Action. Available online at [https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/main\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/main_report_en.pdf), last accessed on 20.05.2022.
- Galvin, Ray; Dütschke, Elisabeth; Weiß, Julika (2021): A conceptual framework for understanding rebound effects with renewable electricity. A new challenge for decarbonizing the electricity sector. In: *Renewable Energy* 176, pp. 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.074>
- Gota, Sudhir; Huizenga, Cornie; Peet, Karl; Medimorec, Nikola; Bakker, Stefan (2019): Decarbonising transport to achieve Paris Agreement targets. In: *Energy Efficiency* 12 (2), pp. 363–386. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9671-3>
- Gynther, Lea (2021): *Energy sufficiency indicators and policies*. Policy brief. s.l.: s.n. Available online at <https://www.odyssee-mure.eu/publications/policy-brief/energy-sufficiency.pdf>, last accessed on 20.05.2022.
- Held, Benjamin (2018): *Auswirkungen der Internalisierung externer Kosten des Konsums. Eine empirische Analyse der sozialen Verteilungswirkungen*. (Dissertation) Heidelberg: Universität Heidelberg. Available online at [https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/25200/1/Held\\_Benjamin\\_Internalisierung\\_externe\\_Kosten.pdf](https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/25200/1/Held_Benjamin_Internalisierung_externe_Kosten.pdf), last accessed on 20.05.2022.

- Hook, Joshua; Hodge, Adam; Zhang, Hansong; van Tongeren, Daryl; Davis, Don (2021): Minimalism, voluntary simplicity, and well-being. A systematic review of the empirical literature. In: *The Journal of Positive Psychology*, pp. 12. <https://doi.org/10.1080/17439760.2021.1991450>
- Huber, Joseph (1995): Nachhaltige Entwicklung durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz. In: Peter Fritz, Joseph Huber and Hans Levi (eds.): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, pp. 31–46.
- IEA – International energy agency (2022 a): A 10-point plan to cut oil use. Paris: [iea.org](https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-cut-oil-use). Available online at <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-cut-oil-use>, last accessed on 20.05.2022.
- IEA (2022 b): A 10-Point Plan to Reduce the European Union’s reliance on Russian natural gas. Paris: [iea.org](https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas). Available online at <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>, last accessed on 20.05.2022.
- IEA (2021): Tracking clean energy progress. Assessing critical energy technologies for global clean energy transitions. Paris: [iea.org](https://www.iea.org/topics/tracking-clean-energy-progress). Available online at <https://www.iea.org/topics/tracking-clean-energy-progress>, last accessed on 20.05.2022.
- Kalt, Tobias; Lage, Jonas (2019): Die Ressourcenfrage (re)politisieren! Suffizienz, Gerechtigkeit und sozial-ökologische Transformation. In: *GAIA. Ecological Perspectives for Science and Society* 28 (3), pp. 256–259. <https://doi.org/10.14512/gaia.28.3.4>
- KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (2022): Bestand. Flensburg: [kba.de](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html). Available online at [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html), last accessed on 09.05.2022.
- Kopatz, Michael (2016): *Ökoroutine. Damit wir tun, was wir für richtig halten*. München: oekom.
- Lessenich, Stephan (2016): *Neben uns die Sintflut*. Berlin: Carl Hanser Verlag.
- Lübbers, Sebastian et al. (2022): Vergleich der “Big 5” Klimaneutralitätsszenarien. s.l.: Stiftung Klimaneutralität. Available online at [https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5\\_Szenarienvergleich\\_final.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5_Szenarienvergleich_final.pdf), last accessed on 23.05.2022.
- Paech, Niko (2012): *Liberation from excess. The road to a post-growth economy*. München: oekom.
- Paech, Niko (2020): Suffizienz als Antithese zur modernen Wachstumsorientierung. In: Manfred Folkers and Niko Paech (eds.): *All you need is less. Eine Kultur des Genug aus ökonomischer und buddhistischer Sicht*. München: oekom, pp. 110–216.
- Potočník, Janez et al. (2018): Sufficiency. Moving beyond the gospel of eco-efficiency. s.l.: Friends of the Earth Europe. Available online at [https://friendsoftheearth.eu/wp-content/uploads/2018/03/foee\\_sufficiency\\_booklet.pdf](https://friendsoftheearth.eu/wp-content/uploads/2018/03/foee_sufficiency_booklet.pdf), last accessed on 23.05.2022.
- Raworth, Kate (2017): *Doughnut economics. Seven ways to think like a 21st century economist*. Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Rockström, Johan et al. (2009): Planetary boundaries. Exploring the safe operating space for humanity. In: *Ecology and Society* 14 (2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Sachs, Wolfgang (1993): Die vier E’s. Merkposten für einen maß-vollen Wirtschaftsstil. In: *Politische Ökologie* 33, pp. 69–72.
- Sachs, Wolfgang (1995): From efficiency to sufficiency. In: *Resurgence* 171, pp. 6–8.
- Saheb, Yamina (2021): COP26. Sufficiency should be first. In: *Buildings & Cities*, 10.10.2021. Available online at <https://www.buildingsandcities.org/insights/commentaries/cop26-sufficiency.html>, last accessed on 03.06.2022.
- Salleh, Ariel (2010): From metabolic rift to “metabolic value”. Reflections on environmental sociology and the alternative globalization movement. In: *Organization & Environment* 23 (2), pp. 205–219. <https://doi.org/10.1177/1086026610372134>
- Santarius, Tilman (2016): Investigating meso-economic rebound effects. Production-side effects and feedback loops between the micro and macro level. In: *Journal of Cleaner Production* 134, pp. 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.055>
- Schneidewind, Uwe; Zahrnt, Angelika (2014): *Politics of sufficiency*. München: oekom. Available online at [https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5550/file/5550\\_Schneidewind.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5550/file/5550_Schneidewind.pdf), last accessed on 16.05.2022.
- Skea, Jim et al. (2022): Climate change 2022. Mitigation of climate change. Summary for Policymakers. Working Group III contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: Intergovernmental panel on climate change. Available online at [https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf), last accessed on 20.05.2022.
- Sorrell, Steve (2009): Jevons’ paradox revisited. The evidence for backfire from improved energy efficiency. In: *Energy Policy*, 37 (4), pp. 1456–1469. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.003>
- Sorrell, Steve; Gatersleben, Birgitta; Druckman, Angela (2020): The limits of energy sufficiency. A review of the evidence for rebound effects and negative spillovers from behavioural change. In: *Energy Research & Social Science* 64, p. 101439. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101439>
- Spangenberg, Joachim; Lorek, Sylvia (2019): Sufficiency and consumer behaviour. From theory to policy. In: *Energy Policy* 129, pp. 1070–1079. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.013>
- Spengler, Laura (2016): Two types of ‘enough’. Sufficiency as minimum and maximum. In: *Environmental Politics* 25 (5), pp. 921–940. <https://doi.org/10.1080/09644016.2016.1164355>
- Wiese, Frauke et al. (2022 a): Why sufficiency? An interdisciplinary perspective. In: *SocArXiv*. <https://doi.org/10.31235/osf.io/bgrp3>
- Wiese, Frauke; Thema, Johannes; Cordroch, Luisa (2022 b): Strategies for climate neutrality. Lessons from a meta-analysis of German energy scenarios. In: *Renewable and Sustainable Energy Transition* 2, p. 100015. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100015>
- Zell-Ziegler, Carina et al. (2021): Enough? The role of sufficiency in European energy and climate plans. In: *Energy Policy* 157, p. 112483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112483>
- Zell-Ziegler, Carina; Förster, Hannah (2018): Mit Suffizienz mehr Klimaschutz modellieren. s.l.: Umweltbundesamt. Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba\\_texte\\_55\\_2018\\_zwischenbericht\\_mit\\_suffizienz\\_mehr\\_klimaschutz\\_modellieren.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_texte_55_2018_zwischenbericht_mit_suffizienz_mehr_klimaschutz_modellieren.pdf), last accessed on 20.05.2022.
- Zozmann, Elmar et al. (2021): The potential of sufficiency measures to achieve a fully renewable energy system. A case study for Germany. In: *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.00453>

Bildquelle: Vis.Lab/Wuppertal Institut

**DR. BENJAMIN BEST,**

political scientist and sociologist, is a senior researcher for the Wuppertal Institute since 2011. He is one of the two principal investigators in the “Energy Sufficiency Junior Research Group” (EnSu). His topics are legitimacy and policy mixes for energy sufficiency, social change and participatory structural policy.

Bildquelle: ECDF/PR/Telix Noth

**PROF. DR. TILMAN SANTARIUS**

is a professor for “Social Transformation” at the Technical University of Berlin and the Einstein Centre Digital Futures. Tilman has published articles on topics such as climate policy, world trade, sustainable economics, global justice and, most recently, digital transformation.

Bildquelle: Christina Kloedt/EUF

**DR. MICHAELA CHRIST,**

sociologist, is a senior researcher at the Norbert Elias Center of Transformation Design & Research at European University Flensburg. She is co-leading the transdisciplinary project “Opportunities and Obstacles for Sufficiency-Oriented Urban Development” (EHSS). Her teaching and research interests are sustainable urban development, historical socio-ecological transformation processes, social-nature relations.

Bildquelle: Christina Kloedt/EUF

**PROF. DR. FRAUKE WIESE**

is an associate professor for “Transformation of Energy Systems” at the Europa-Universität Flensburg. She is co-leading the “Energy Sufficiency Junior Research Group” (EnSu). She has a background in energy system analysis and modelling and focuses on making energy sufficiency visible in demand and energy models, as well as in climate and energy scenarios.



RESEARCH ARTICLE

# Prosuming – energy sufficiency and rebound effects: Climate impact of changing household consumption patterns in Germany

Nesrine Ouanes<sup>\*1</sup>, Jan Kegel<sup>1</sup>, Jan Wiesenthal<sup>1,2</sup>, Clara Lenk<sup>1</sup>, Hannes Bluhm<sup>1,3</sup>, Julika Weiß<sup>1</sup>, Lukas Torliene<sup>1</sup>

18

**Abstract** • Changes in energy consumption patterns after becoming a prosumer household are rarely associated with negative environmental effects, as prosuming is intuitively assumed to be emission-reducing. This paper demonstrates the importance of sufficiency-oriented energy prosumer behavior for climate neutrality goals by quantifying GHG emissions for photovoltaic (PV) prosumers at the German household and energy system level. Based on the results, recommendations are derived for promoting energy sufficiency in prosumer households.

**Keywords** • energy rebound, prosumer self-consumption, sufficiency, LCA

*This article is part of the Special Topic “Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>*

**Prosumer – zwischen Energiesuffizienz und Rebound-Effekten:**  
*Klimawirkungen sich verändernder Haushaltsverbrauchsmuster in Deutschland*

**Zusammenfassung** • Änderungen im Energieverbrauchsverhalten durch den Wechsel zum Prosuming werden selten mit negativen Umwelteffekten in Verbindung gebracht, da intuitiv angenommen wird, dass Prosuming immer emissionsmindernd ist. Ziel dieses Beitrags ist es, die Bedeutung des Suffizienzverhaltens von Energie-Prosumern für die Klimaneutralitätsziele nachzuweisen und die Treibhausgasemissionen auf Haushalts- und Energieystemebene in Deutschland zu quantifizieren. Basierend auf den Ergebnissen werden Empfehlungen zur Förderung der Energiesuffizienz in Prosumer-Haushalten abgeleitet.

## Introduction

To decarbonize the energy system and achieve climate protection goals, significant increases in renewable energy production are needed. Yet the expansion of renewables is still a huge challenge in terms of planning and operation, especially as new players, e.g., sector-coupling technologies, enter the energy markets. A timely energy transition, therefore, will also require reductions of energy demand through both sufficiency and efficiency measures. Solar photovoltaics (PV) are an essential part of this transition and the contribution of PV prosumers – households that produce their own electricity – is becoming increasingly relevant.

PV prosuming not only influences the electrical energy mix in the household, it can also lead to behavioral changes influencing energy consumption patterns (Dütschke et al. 2021; Galvin 2020). On the one hand, these changes can occur in the form of rebound effects, which we define in this context as *increases in energy consumption* subsequent to an increase in renewable energy use (Galvin et al. 2021). On the other hand, PV prosuming may result in *reductions in energy consumption*, which we understand as sufficiency-oriented behavior. Depending on the methodology and socio-technical variables used, studies focusing on rebound effects from PV prosuming find evidence for both trends, with a varying scope that can range from a reduction

\* Corresponding author: [nesrine.ouanes@ioew.de](mailto:nesrine.ouanes@ioew.de)

<sup>1</sup> Institute for Ecological Economy Research, Berlin, DE

<sup>2</sup> Leuphana University Lüneburg, Lüneburg, DE

<sup>3</sup> Europa-Universität Flensburg, Flensburg, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).

<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>

Received: Feb. 05, 2021; revised version accepted: Apr. 25, 2022;

published online: Jul. 18, 2022 (peer review)

or no significant increase in consumption (Li et al. 2020; Oberst et al. 2019) to substantial rebound effects, potentially equivalent to the rate of self-consumption (Frondel et al. 2020).

The findings of the German research project *EE-Rebound* indicate increasing electricity consumption, especially for households that installed their PV-systems after 2011. This may be attributed to self-consumption becoming economically more profitable than grid feed-in after this date. Based on a survey among prosumer and non-prosumer households with a subsequent matching of their socio-technical characteristics, the post-2011 PV prosumer group was shown to exhibit an approximately 18% higher electricity consumption than comparable non-prosumer households (Galvin et al. 2022).

The reasons leading to higher consumption can be manifold, economic incentives play a crucial role. The currently low feed-in tariff may encourage a higher energy consumption, since households favor the maximization of self-consumption over feed-in remuneration (Weiß et al. 2021). The availability of equity financing with low ongoing costs can also encourage generous consumption. Prosumers practicing load shifting, i.e., moving power consumption into the sunny hours of the day when solar PV output is greatest, and those effectively using smart metering techniques are examples of energy-conscious behavioral changes in the other direction. Galvin (2020) and Dütschke et al. (2021) provide empirical findings on the significance of this prosumer group that comprehensively monitors energy consumption. Studies show that using extensive feedback systems can lead to decreases in energy consumption of 8 to 12% (Dro-maque and Grigoriou 2018; Gähns et al. 2021).

So far, the environmental implications of consumption changes in prosumer households remain uninvestigated. One could argue that household demand is largely met by PV output, with thus little or no environmental effect on either the household or the overall energy system. The goal of our research is to investigate the validity of this argument: how can we quantify the environmental effects of the changes in energy consumption patterns by PV prosumers and how relevant are these effects at household and system level?

First, we present the modeling of energy flows at household level and the upscaling to system level. Second, we elaborate the methods for environmental assessment in terms of greenhouse gas (GHG) emissions and apply these to the resulting energy flows and upscaling. Finally, we conclude with a summary and deduce recommendations for policy makers, civil society and prosumers with respect to increasing awareness of the importance of PV prosuming and its related consumption patterns.

## Modeling of energy flows and upscaling scenarios

An examination of energy flows between a single household and the main grid is intended to help us investigate how the absence of energy sufficiency dampens the prosumer contribution to the

energy transition. By upscaling the results of individual households to the system level in Germany, we provide insights into the overall effects of consumption patterns.

### Method, input data, and scenarios

First, to investigate the effects on the grid exchange of a variety of consumption patterns, we rely on the IÖW Energy Prosumer Model. The model provides a bottom-up simulation of energy flows in a household and allows us to simulate preset levels of electricity consumption based on a given household size and efficiency class (co2online 2022). The model has been described in detail in Gähns et al. (2020). We investigate the following scenarios for a 3-person and a 5-person prosumer household:

- *Reference (Ref)*: Average consumption according to co2online (2022) (3-person household: ~3,700 kWh; 5-person household: ~5,200 kWh)
- *Sufficiency (S-10)*: Reduced electricity consumption of approximately 10%. We take this value as an average from the findings of the studies presented in the introduction.
- *Rebound (R+10; R+20)*: An overconsumption of 20% is chosen as an approximation of the aforementioned survey results of the project *EE-Rebound*. An overconsumption of 10% is investigated as an intermediate step, since values on solar rebounds reported in the literature vary greatly.
- *Rebound and load shifting (R+10 & LS; R+20 & LS)*: These scenarios encompass prosumers who, in addition to increasing their consumption, also practice load-shifting as described above.

Second, we use available data to analyze the development of the German PV market and the share of small-scale PV prosuming systems with and without battery (AEE 2020; Bundesnetzagentur 2021; Figgenger et al. 2021). We assume a dynamic growth for PV capacity of +0.7 GWp per year leading to approximately 140 GWp in 2030 (from ~60 GWp in 2021). While in line with other studies targeting 130 to 150 GWp (BDEW 2021; dena 2021), the capacity goal investigated here represents a moderate development of the PV market. This is emphasized by the recent draft for the amendment of the Renewable Energy Source Act (EEG), which targets 200 GWp by 2030 (BMWK 2022). Furthermore, we assume that PV prosuming < 100 kWp will almost quadruple compared to historical data.

Third, based on the average solar irradiation in Germany weighted by geographic distribution of the PV systems (DWD 2021) and our simulated energy flows for the various household sizes, we estimate the effect of different consumption patterns by PV prosumers across Germany. Further detailed assumptions can be found in Kegel et al. (2022).

### Results and discussion

Results of the simulation at the household level show that overconsumption can only be partly met by self-consumption. Load shifting and battery storage can in part mitigate this demand, but

with a more substantial increase in energy demand (e.g., R+20), the overconsumption has to be met largely by the grid. The described effects are presented in Table 1 for a 3-person household. Given that the results for a 5-person household are similar, they are omitted here, but can be found in our related paper (Lenk et al. 2022).

Results at the system level (including both 3- and 5-person prosumer households) indicate that upscaling the R+10 and R+20 scenarios lead to a comparably low effect on the current overall electricity demand in Germany (1.2 and 2.4 TWh in 2020, respectively). However, a significantly increased demand of 6 to 12 TWh is anticipated in 2030 (R+10 and R+20, respectively). In the case of the R+20 scenario, this translates to about 1.7% of the forecasted electrical power demand for Germany in 2030 (BMWK 2022). Of this additional demand, 70% would have to be grid-supplied. In contrast, if prosumers would tend towards more sufficient consumption patterns in the future (S-10), power savings of around -8.5 TWh could be achieved in 2030 (-2 TWh in 2020).

The potential aggravation of both sufficiency and rebound effects in 2030 is largely dependent on PV market development. Even a moderate development of the installed PV capacity, as assumed in our study, may result in the need for substantial additional renewable energy installations or longer operation of fossil-based power plants.

## Greenhouse gas emissions due to changes in energy consumption patterns

In the following, we first describe our methodological approach to determining GHG emissions at the household and energy system level. We then present and discuss the results.

### Methods

To assess the climatic impact of changing consumption patterns at the household level, we carry out a life cycle assessment (LCA) based on international guidelines (DIN EN ISO 14044:2006). The system analyzed is the same PV prosumer household as described above. The system is compared to the various sufficiency and rebound scenarios, both with and without load shifting. System boundaries cover energy technologies and their life cycle, as well as energy flows from the grid. All energy and material flows and the resulting environmental impacts are related to our single household's power consumption for 2020 (i.e., the functional unit). The impact assessment is limited to climate change as impact category and the corresponding GHG emissions (CO<sub>2</sub>eq) are according to the IPCC (2007) characterization factors.

	Without battery storage		With battery storage	
	Self-consumption [kWh/a]	Grid supply [kWh/a]	Self-consumption [kWh/a]	Grid supply [kWh/a]
Ref	732	2,966	1,880	1,875
S-10	672	2,552	1,809	1,471
R+10	838	3,228	1,993	2,131
R+10 & LS	905	2,808	2,079	1,693
R+20	939	3,508	2,089	2,415
R+20 & LS	1,159	3,304	2,324	2,197

**Tab. 1:** Results of simulated self-consumption and grid supply for a 3-person household with a 3.5 kWp photovoltaic system, and 3.5 kWh battery; electricity fed into grid equals electricity produced (3,431 kWh in all scenarios) minus self-consumption. *Source: authors' own compilation*

For the impact assessment, we use three emission factors:

- *PV electricity:* 0.056 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh, derived from Lauf et al. (2021). The factor represents a generic device based on currently installed PV capacities in Germany.
- *Battery:* 12.195 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh of storage capacity and year, derived from Ökobaudat (BMI 2018). The value refers to a lithium iron phosphate battery system with a lifetime of 20 years.
- *Electricity from the grid:* 0.391 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh, based on Lauf et al. (2021) and on official statistics by AGEb (2021).

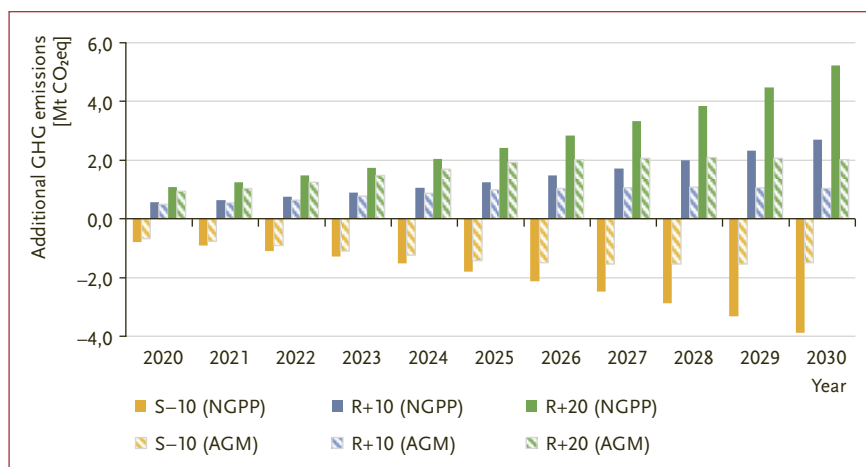
The factors for PV and battery include GHG emissions from peripheral equipment (e.g., cables, inverters); all factors are valid for 2020.

In order to investigate the changes in emissions of the entire German power sector, we apply two supply side approaches and the corresponding emission factors to the upscaled scenarios presented in the previous section:

- *Average generation mix (AGM):* The supply for additional consumption is equivalent to the average generation mix in a year. To depict past production mixes, we use official statistics by AGEb (2021). The 2025 and 2030 electricity mixes are based on Prognos et al. (2021). The actual implementation of such an approach would require an active response to changing consumption patterns by adjusting planned power plant expansions, especially with regards to renewable energies.
- *Natural gas power plants (NGPP):* Additional demand is provided by marginal generators in the German electrical power market. For practical reasons, we follow a common approach in life cycle modelling and assume natural gas turbines as single and constant marginal technology (Rehberger and Hiete 2015), which represents a strong simplification of market mechanisms. The approach is also relevant to actual changes in the German power plant fleet. Nuclear and coal

Scenario	Without battery		With battery	
	Emissions [kgCO <sub>2</sub> eq]	cf. to Ref [%]	Emissions [kgCO <sub>2</sub> eq]	cf. to Ref [%]
Ref	1,201	0	878	0
S-10	1,036	-14	716	-18
R+10	1,310	8	984	11
R+10 & LS	1,239	3	904	3
R+20	1,425	16	1,101	20
R+20 & LS	1,357	12	1,030	15

**Tab. 2:** Emissions for a 3-person household with a 3.5 kWp photovoltaic system (Ref is the scenario without behavioural changes). *Source: authors' own compilation*



**Fig. 1:** Additional greenhouse gas (GHG) emissions per year until 2030; supply by natural gas power plant (NGPP) and by average generation mix (AGM). *Source: authors' own compilation*

power plants are to be phased out, whereas capacities of dispatchable gas power plants shall be expanded, according to the intentions of the current German government (SPD et al. 2021) and scenarios approved by the German Federal Network Agency (Bundesnetzagentur 2020).

Given that both approaches assess large-scale structural changes and consequences of two opposing options for decision-making, they conform to the approach of consequential life cycle inventory modelling (EC JRC IES 2010; Zamagni et al. 2012).

Technology-specific emission factors for electricity production including direct and indirect emissions of the upstream chains are taken from Lauf et al. (2021). The emission factors related to gross electricity production were adjusted for the power plants' own consumption. Furthermore, we neglect network losses and trade with neighboring countries.

The NGPP approach uses a fixed emission factor of 0.453 kg-CO<sub>2</sub>eq for each additional net kWh that is consumed. The emission factor in the AGM approach decreases from 0.391 kg-CO<sub>2</sub>eq/kWh in 2020 to 0.174 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh in 2030 due to

the changes in the power plant fleet and electrical power production (our calculation based on Lauf et al. 2021; Prognos et al. 2021).

## Results and discussion

An overview of the resulting GHG emissions at the household level is displayed in Table 2. Our 3-person household's GHG emissions for 2020 sum up to 1,201 kgCO<sub>2</sub>eq (no battery) and 878 kg-CO<sub>2</sub>eq (with battery). Lower emissions with battery are due to the greater volume of PV self-consumption, which also overcompensates for additional emissions from battery production. Generally, the scenarios with rebound effects lead to higher GHG emissions both with and without battery when compared to the Ref scenario. In the sufficiency scenario, the household's GHG emissions decrease in both cases. Furthermore, a symmetrical rebound or sufficiency effect of 10% leads to asymmetrical changes in GHG emissions (e.g., +8 and -14% without battery), since changes in consumption have an effect on volumes of GHG-intensive grid supply rather than on PV self-consumption. With load shifting, emissions can be mitigated by up to eight percentage points.

In cases without battery, the emissions are mostly due to energy supply from the grid (~96%) and to a lesser extent PV power supply (~4%). In cases with battery, electricity from the grid remains the main source of GHG emissions (80–86%), followed by PV (10–14%) and the battery (~5%).

Results for the impact assessment at the system level are shown in Figure 1 with the AGM approach, the S-10 scenario results in savings of 0.7 MtCO<sub>2</sub>eq in 2020 and up to 1.5 MtCO<sub>2</sub>eq in 2028. These savings remain at a similar level thereafter, since the yearly emission factor is falling towards 2030. Thus, decreasing consumption leads to less GHG savings per unit. Additional GHG emissions in the rebound scenarios peak in 2027 (R+10: 1.1 MtCO<sub>2</sub>eq, R+20: 2.1 MtCO<sub>2</sub>eq) and, subsequently, decline towards 2030 (1.0 and 2.0 MtCO<sub>2</sub>eq, respectively) as the sinking emission factor overcompensates for the increase in electricity consumption.

The NGPP approach results in continuously decreasing emissions for the sufficiency scenario (S-10). Emissions of up to 3.9 MtCO<sub>2</sub>eq in 2030 can be saved in 2030. In contrast, GHG emissions in the rebound scenarios are steadily increasing. In 2030, the additional burden sums up to 2.7 MtCO<sub>2</sub>eq (R+10) and 5.2 MtCO<sub>2</sub>eq (R+20).



The results show furthermore that load shifting has almost no effect on GHG emissions since we apply fixed emission factors per year, whereas this flexibility measure affects the household's power supply during the year.

Compared to the reduction target for the German energy sector in 2030 (108 MtCO<sub>2</sub>eq according to the Federal Climate Change Act, KSG (2021)), GHG emission savings due to a reduced energy demand (sufficiency) can account for a share of up to 1 % (AGM) and 4 % (NGPP). Additional emissions due to increased energy consumption (rebound effects) account for a share of up to 2 % (AGM) and 5 % (NGPP).

Since additional emissions fall toward 2030 in the AGM approach, our results might suggest that rebound effects become less of an issue over time. However, this conclusion neglects that the expansion of renewables is already becoming a challenge today. Therefore, additional GHG emissions in the case of overconsumption may impede climate targets, making a revision of consumption projections and renewables planning necessary.

Quantifying the degree of over- or underconsumption when a household turns prosumer, however, remains challenging. First, because empiric data on the behavioral effects of PV prosuming indicate cases of varying tendencies; second, because a clearer distinction between consumption associated with sector coupling vs. mere rebound effects is still pending. Upscaling magnifies these uncertainties further, as the same consumption patterns are applied to the entire German PV capacity < 100 kWp. This demands a more detailed investigation of consumption patterns with different PV system characteristics.

Using static, inner-annual emission factors of the average energy market mix or of marginal suppliers is common practice in LCA (EC JRC IES 2010; Rehberger and Hiete 2015). This approach, however, neglects dynamics in the power system. Lund et al. (2010) show that assuming natural gas power plants as a single marginal technology results in lower GHG emissions compared to a modelling approach that reflects dynamic market interactions. These dynamics are becoming even more relevant as volatile renewable energies enter the market. Furthermore, our impact assessment is limited to climate change, whereas other impact categories are also relevant for electrical power production (Barros et al. 2020). Finally, the actual changes in GHG emissions depend very much on the quantity and speed of renewable energy expansion and fossil fuel phaseout.

## Conclusion and recommendations

Households tend to reduce their emissions when switching to prosuming (Lenk et al. 2022); this can be enhanced by sufficient behavior or diminished by rebound effects. As shown by our results at household level, greater energy consumption, triggered by prosuming, leads to greater GHG emissions. These can be mitigated by load shifting and the use of larger-sized PV systems, since, in both cases, the increased demand is more closely associated with the PV-produced electricity. In the defined suf-

ficiency scenario, the results showcase decreasing emissions and a greater share of electricity fed into the grid.

The results of upscaling show that rebound effects can add up to relevant additional GHG emissions as the number of prosumer households increases and the politically intended market diffusion of PV and PV battery systems materializes. Load shifting can hardly reduce this effect, since the PV power used to meet the increased demand can no longer be fed into the grid.

Based on our analyses, we offer, in the following sections, recommendations to incentivize energy sufficiency and avoid rebound effects. We address measures to both encourage behavioral changes at the household level, as well as collective energy sufficiency strategies. Furthermore, tariffs and services are discussed. Finally, we present the needs identified for future research.

### Information and consultation

Due to the fundamental importance of individual participation in the energy transition, it is key that we provide prosumers with the advice and information needed such that they can support climate goals with their consumption practices. In consultation, instead of focusing on self-consumption and the economic advantages of PV systems (Kratschmann and Dütschke 2021), the potential contribution of the prosumer to the energy transition should be emphasized more strongly.

Sufficiency-oriented behavior can furthermore be supported by real-time feedback on energy consumption. Smart meters can be used for this purpose, as they not only have a positive effect on power consumption, but are also economically and ecologically worthwhile (Gähns et al. 2021).

### Political and regulatory framework

The Renewable Energy Sources Act (EEG) in Germany is currently fostering self-consumption among prosumer households as it is the most cost-effective option. This might be advantageous for acceptance and the fast expansion of solar PV. But it does not lead to sufficient consumption patterns, and often limits the size of the PV system being installed. As shown by Li et al. (2020), prosumer consumption tends to decrease, when feed-in increases; thus, increasing incentives for grid feed-in could support greater sufficiency-oriented behavior.

In addition, the EEG-rule, ensuring that small PV systems may feed in only 70 % of the rated power supports overconsumption, as some prosumers erroneously fear that up to 30 % of the electricity they produce, is “wasted” (Galvin 2020; Weiß et al. 2021). Targeted information on the actual low significance of this curtailment rule could reduce this problem.

### Tariffs and services

Among the cloud and community tariffs identified in Lenk et al. (2022), some offer solutions to limit generous consumption. For instance, credit financing of the PV system with monthly installment payments can smooth out the uneven distribution between high initial investment costs and low ongoing operating costs of a



PV system. In addition, incentives like a cash-back system, where unused electricity quantities are paid out, can promote sufficiency-oriented behavior. (This, however, leads to additional household income, which, depending on how it is used, could lead to a monetary rebound and therefore to other ecological impacts.)

### Further research

The environmental effects of changing consumption patterns as a consequence of becoming a prosumer household have so far not been addressed in energy system modelling, nor in climate neutrality trajectory planning. We urge further investigation of these linkages, e.g., by conducting more extensive interdisciplinary research and making scenarios with such behavioral effects a more common practice in modelling.

For the environmental assessment methods, future research could address models to investigate inner-annual dynamics in the power market. Further studies might also broaden the assessment to additional impact categories.

**Funding** • The authors wish to thank the German Federal Ministry of Education and Research for supporting the projects EE-Rebound (Grant No. 01UT1705A) and SteuerBoard Energie (Grant No. 01UU2005B).

**Competing interests** • The authors declare no competing interests.

### References

- AEE (2020): Installierte Leistung Photovoltaik. Übersicht zur Entwicklung Erneuerbarer Energien in allen Bundesländern. Available online at [https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|B|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/solar/auswahl/183-installierte\\_leistung](https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|B|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/solar/auswahl/183-installierte_leistung), last accessed on 27.04.2022.
- AGEB – AG Energiebilanzen e. V. (2021): Evaluation tables of the energy balance for Germany. Energy data for the years 1990 to 2020. Available online at [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/09/awt\\_2020\\_e.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/09/awt_2020_e.pdf), last accessed on 27.04.2021.
- Barros, Murillo; Salvador, Rodrigo; Piekarski, Cassiano; de Francisco, Antonio; Freire, Fausto (2020): Life cycle assessment of electricity generation. A review of the characteristics of existing literature. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25 (1), pp. 36–54. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01652-4>
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2021): Die Energiewende braucht einen PV-Boom. Berlin: BDEW.
- BMI – Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat (2018): ÖKOBAUDAT – Process data set. Available online at <https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=en&uuid=10c531c8-329c-479a-bbe9-17990ca5dfd6&version=20.19.120>, last accessed on 27.04.2022.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. Berlin: BMWK
- Brandes, Julian et al. (2021): Studie. Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Freiburg: ISE.
- Bundesnetzagentur (2020): Genehmigung des Szenari Rahmens 2021–2035. Bonn: BNetzA.
- Bundesnetzagentur (2021): Marktstammdatenregister. Available online at <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>, last accessed on 07.04.2021.
- co2online (2022): Stromspiegel für Deutschland 2021. Available online at <https://www.stromspiegel.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Broschuere/stromspiegel-2021.pdf>, last accessed on 27.04.2022.
- dena – Deutsche Energie-Agentur (2021): Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Berlin: dena.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V. (2006): Environmental management. Life cycle assessment, Requirements and guidelines (ISO 14044:2006).
- Dromaque, Christophe; Grigoriou, Rafaila (2018): The role of data for consumer centric energy markets and solutions. Brussels: ESMIG.
- Dütschke, Elisabeth; Galvin, Ray; Brunzema, Iska (2021): Rebound and spillovers. Prosumers in transition. In: *Frontiers in Psychology* 12, p. 636109 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.636109>
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2021): Globalstrahlungskarten. Monats- und Jahressummen. Available online at [https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten\\_su.html?nn=16102](https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten_su.html?nn=16102), last accessed on 27.04.2022.
- EC JRC IES – European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability (2010): International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. General guide for life cycle assessment. Detailed guidance. Luxembourg: European Commission.
- Figgenger, Jan et al. (2021): The development of stationary battery storage systems in Germany. Status 2020. In: *Journal of Energy Storage* 33, p. 101982. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101982>
- Frondel, Manuel; Kaestner, Kathrin; Sommer, Stephan; Vance, Colin (2020): Photovoltaics and the solar rebound. Evidence for Germany. In: *SSRN Electronic Journal USAEE Working Paper No. 20-475*, 38 p. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3716945>
- Gährs, Swantje et al. (2021): Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich. Berlin: UBA.
- Gährs, Swantje; Deisböck, Alexander; Cremer, Noelle; Cremerius, Paula (2020): Regionale Flexibilitäten in Haushalten und Supermärkten. Berlin: IÖW.
- Galvin, Ray (2020): I'll follow the sun. Geo-sociotechnical constraints on prosumer households in Germany. In: *Energy Research & Social Science* 65, p. 101455. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101455>
- Galvin, Ray; Dütschke, Elisabeth; Weiß, Julika (2021): A conceptual framework for understanding rebound effects with renewable electricity. A new challenge for decarbonizing the electricity sector. In: *Renewable Energy* 176, pp. 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.074>
- Galvin, Ray; Schuler, Johannes; Atasoy, Ayse Tugba; Schmitz, Hendrik; Pfaff, Matthias; Kegel, Jan (2022): A health research interdisciplinary approach for energy studies. Confirming substantial rebound effects among solar photovoltaic households in Germany. In: *Energy Research and Social Science* 86, pp. 102429. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102429>
- Kegel, Jan; Lenk, Clara; Ouanes, Nesrine; Wiesenthal, Jan; Weiß, Julika (2022): Prosumerverhalten und Energiewende. Berlin: IÖW.
- Kratschmann, Martina; Dütschke, Elisabeth (2021): Selling the sun. A critical review of the sustainability of solar energy marketing and advertising in Germany. In: *Energy Research and Social Science* 73, pp. 121471. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101919>
- KSG – Klimaschutzgesetz (2021): Federal Climate Change Act. Available online at [https://www.gesetze-im-internet.de/englisch\\_ksg/index.html](https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_ksg/index.html), last accessed on 27.04.2022.
- Lauf, Thomas; Memmler, Michael; Schneider, Sven (2021): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020. Dessau-Roßlau: UBA.

Lenk, Clara; Torliene, Lukas; Weiß, Julika; Wiesenthal, Jan (2022): Wie wirken Rebound-Effekte von Prosumern? Berlin: IÖW.

Li, Xingzhi; Lim, Ming K.; Ni, Du; Zhong, Bo; Xiao, Zhi; Hao, Haitian (2020): Sustainability or continuous damage. A behavior study of prosumers' electricity consumption after installing household distributed energy resources. In: Journal of Cleaner Production 264, pp. 121471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121471>

Lund, Henrik; Mathiesen, Brian Vad; Christensen, Per; Schmidt, Jannick Hoejrup (2010): Energy system analysis of marginal electricity supply in consequential LCA. In: The International Journal of Life Cycle Assessment 15 (3), pp. 260–271. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0164-7>

Oberst, Christian; Schmitz, Hendrik; Madlener, Reinhard (2019): Are prosumer households that much different? Evidence from stated residential energy consumption in Germany. In: Ecological Economics 158, pp. 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.014>

Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Berlin: s.n. Available online at [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_04\\_KNDE45/A-EW\\_209\\_KNDE2045\\_Zusammenfassung\\_DE\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf), last accessed on 11.05.2022.

Rehberger, Max; Hiete, Michael (2015): Considering supply and demand of electric energy in life cycle assessments. A review of current methodologies. In: Materiaux et Techniques France, 103 (1), pp. 1051–1059. <https://doi.org/10.1051/mattech/2015006>

Solomon, Susan (2007): Climate change 2007. The physical science basis. Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. New York, NY: Cambridge University Press. Available online at [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf), last accessed on 27.04.2022.

SPD; Bündnis 90/Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Berlin: grün gedruckt.de. Available online at [https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag\\_2021-2025.pdf](https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf), last accessed on 27.04.2022.

Weiß, Julika; Gährs, Swantje; Galvin, Ray (2021): Rebound-Effekte und Prosumer. Die Rolle der Rahmenbedingungen für den Stromverbrauch bei Photovoltaik-Erzeugern. In: Ökologisches Wirtschaften 36 (1), pp. 17–19. <https://doi.org/10.14512/OEW360117>

Zamagni, Alessandra; Guinée, Jeroen; Heijungs, Reinout; Masoni, Paolo; Raggi, Andrea (2012): Lights and shadows in consequential LCA. In: The International Journal of Life Cycle Assessment 17 (7), pp. 904–918. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0423-x>

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### DR. JAN KEGELL

studied renewable energy systems. He is involved in research projects investigating the technical aspects of decentralized energy systems.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### JAN WIESENTHAL

has been researching in the field of energy prosumers and energy system modelling at the IÖW. He is currently also doing his PhD at Leuphana University in this field.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### CLARA LENK

studied environmental engineering. The focus of her work at IÖW is mainly the ecological assessment of various aspects concerning the energy sector.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### HANNES BLUHM

is a researcher at IÖW. His focus is on life cycle assessment and digitalization in the energy sector. He is currently pursuing a PhD at Europa University Flensburg.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### DR. JULIKA WEISS

has led numerous projects dealing mainly with energetic refurbishment and climate-friendly heat supply. Rebound effects and consumer behavior have been focal points in recent years.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters



#### LUKAS TORLIENE

studied industrial engineering. He works on several research and policy consulting projects regarding climate and energy concepts as well as simulations and economic efficiency.

Bildquelle: IÖW/Gordon Welters







#### NESRINE OUANES

studied renewable energy systems with a focus on mathematical modeling. She works on decentralized electricity markets and their design instruments.

RESEARCH ARTICLE

# Are more solar panels always better?: Assessing carbon impact at the community scale

Jonathan Coignard<sup>\*,1,2</sup> , Sacha Hodencq<sup>2</sup> , Nana Kofi Twum-Duah<sup>2</sup> , Rémy Rigo-Mariani<sup>2</sup> 

**Abstract** • Are more solar panels always better in terms of carbon impact of a local energy community, and what is the impact of energy sufficiency? The answer is simple when a local power grid is seen as infinite storage. However, this answer becomes more difficult if we assume that exporting power to a larger grid at the national scale is not the desired option. Although this is a conservative hypothesis, it is considered for technical and social reasons. In doing so, load profiles become a key to evaluating the carbon impact of hybrid systems with solar panels plus storage units. To summarize the impact of any load profiles on the optimal sizing of solar panels, we propose a novel index denoted 'natural self-sufficiency'. Our results show that not only the reduction of energy demand, but also greater flexibility significantly affects the carbon emissions related to solar panels.

## Sind mehr Solarmodule immer besser?:

Bewertung des kommunalen Kohlenstoffausstoßes

**Zusammenfassung** • Sind mehr Solarmodule immer besser, wenn es um die Kohlenstoffbelastung einer lokalen Energiegemeinschaft geht? Und welchen Einfluss hat die Energiesuffizienz? Die Antwort ist einfach, wenn ein lokales Stromnetz als unendlicher Speicher betrachtet wird. Die Antwort wird jedoch schwieriger, wenn man davon ausgeht, dass die Einspeisung von Strom in ein größeres Netz auf nationaler Ebene nicht die gewünschte Option ist. Obwohl dies eine konservative Hypothese ist, wird sie aus technischen und sozialen Gründen in Betracht gezogen. Unter dieser vorsichtigeren Annahme werden Belastungsprofile zu einem Schlüssel für die Bewertung der Kohlenstoffauswirkungen

von Hybridsystemen mit Solarmodulen und Speichereinheiten. Um die Auswirkungen beliebiger Profile auf die optimale Dimensionierung von Solarmodulen zusammenzufassen, schlagen wir einen neuartigen Index vor, der als ‚natürliche Autarkie‘ bezeichnet wird. Unsere Ergebnisse zeigen, dass nicht nur die Verringerung des Energiebedarfs, sondern auch eine größere Flexibilität die Kohlenstoffemissionen im Zusammenhang mit Solarmodulen erheblich beeinflusst.

**Keywords** • self-sufficiency, energy communities, energy sufficiency, optimal sizing, greenhouse gas emissions

This article is part of the Special Topic "Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption," edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>

## Introduction

Starting with a question on solar panels might be unexpected when energy sufficiency (Zell-Ziegler 2021) is the topic of interest. Although both renewable energy production and energy sufficiency are separate topics, they share a common goal and synergies. Both load shaping and shifting are critical to renewable energy integration but also related to energy sufficiency as they bring lifestyle changes (e.g., charging electric vehicles on sunny days). Our objective is to study the influence of energy sufficiency on greenhouse gas (GHG) emissions induced by solar plus storage systems.

At first sight, yes, more solar panels always reduce GHG emissions. At least, this is the answer from a simple back-of-the-envelope calculation. On the one hand, manufacturing and retiring solar panels have an average GHG cost of 1040 kgCO<sub>2</sub>eq/kWp (ADEME 2021). On the other hand, producing electricity from a 1 kWp solar panel avoids on average 266 kgCO<sub>2</sub>eq per year in Germany and 69 kgCO<sub>2</sub>eq per year in France (elec-

\* Corresponding author: [Jonathan.coignard@gmail.com](mailto:Jonathan.coignard@gmail.com)

<sup>1</sup> LANCEY Energy Storage, Grenoble, FR

<sup>2</sup> CNRS, Grenoble INP, G2Elab, Université Grenoble Alpes, Grenoble, FR



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).

<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>

Received: Jan. 24, 2021; revised version accepted: May 13, 2022;

published online: Jul. 18, 2022 (peer review)

tricityMap 2022; Huld et al. 2012). It follows that after four years in Germany or 15 years in France, a solar panel has virtually reimbursed its carbon impact. If we assume that the lifetime of a solar panel is longer than 20 years, we can conclude that more solar panels always reduce GHG emissions.

However, this brief calculation makes the hypothesis that the electrical grid acts as infinite and ideal storage. In other words, it is always possible to import or export from or to the grid.

Let's consider the hypothesis where power injection into the upstream grid is possible but no longer desired. In such a scenario, more solar panels are not always better in terms of GHG emissions. It depends on the proportion of solar energy that can

panels and storage systems is highly dependent on the load profiles that shall be met by both local assets and imports from the main grid. Indeed, some load profiles are naturally more inclined to absorb – i.e., self-consume – solar production when associated together. For instance, an office building with greater consumption during daytime is naturally better equipped to consume solar generation, than a residential building with an 8 pm peak demand. Unfortunately, real-world consumption profiles are scarce resources, especially when looking for a variety of consumer types. The existence of open-source databases is one solution to studying the effect of various load profiles on the optimal sizing of solar panels and storage capacities (Quoilin et al.

*From a greenhouse gas emission's perspective,  
what is the right number of solar panels and size of batteries,  
if exporting power is not a desired option?*

be absorbed locally. With that hypothesis, only the energy production that overlaps with local consumption is accounted to reimburse the initial carbon cost of solar panels.

Why would we consider this more conservative hypothesis? We propose two reasons, first from a technical point of view, and second from a more social or energy sufficiency-oriented perspective. In reality, the electrical grid is far from an infinite storage, and exporting solar power also has a carbon cost. For instance, solar power does not replace the stability brought by large rotating machines (i.e., spinning reserve for frequency regulation), nor does it change the number of thermal power plants required to meet the electricity demand at night in winter. In some cases, it actually calls for more thermal power plants to increase 'ramp up' capacities when evening consumptions increase as the sun sets (Calero 2022). Exporting more solar power may also imply additional grid reinforcements and emissions from unintentional start-up and shutdown sequences of conventional thermal units.

The second reason to consider the hypothesis of constrained grid exports is of social nature. We believe that there is a trade-off to consider between the different scales of the grid, in particular between the national scale and the scale of local energy communities. A trade-off between efficiency gains from large-scale infrastructures, versus what the proximity to a limited production can bring in terms of energy sufficiency (Illich 1974). We do not advocate for grid-independent energy communities. However, we consider grid-dependent communities that chose to situate their actions for the energy transition at a local scale, rather than at a national scale. Then the question is: From a GHG emission's perspective, what is the right number of solar panels and size of batteries, if exporting power is not a desired option?

To answer this question, we formulate an optimization problem. However, minimizing GHG emissions by installing solar

2016). However, this only provides discrete answers, without offering a continuous analysis for degrees of 'alignment' between load profiles and solar production.

In order to quantify this concept of 'alignment', but also to study the sensitivity of GHG emissions to this concept, we propose a novel approach, where 'alignment' is measured as a novel index denoted as natural self-sufficiency (NSS), and load profiles can be modified to match a given NSS. This approach appears as a relevant solution to provide lower and upper bounds on GHG costs, which is potentially faster than running large Monte-Carlo simulations.

Our contribution in this publication is to:

- inform the GHG cost of solar panels and storage systems when considering that exporting power is not the desired option,
- provide a method for estimating the impact of load profiles on lower and upper bounds of GHG emissions,
- explore the effects of energy sufficiency on resulting GHG emissions.
- All the data, models, and results developed in this paper are made available in open access online (see research data, s.n.).

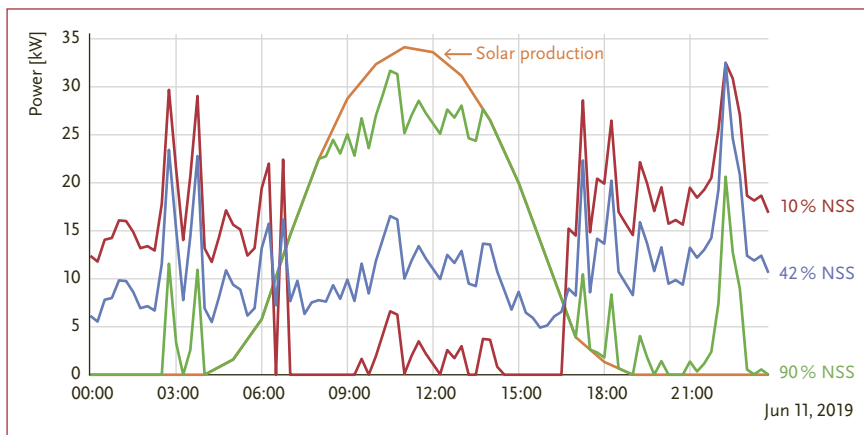
## Defining natural self-sufficiency

### Motivations and definition

Our objective is to develop a metric that quantifies the relative ability of a load profile to overlap with solar production. We aim for a relative metric, as we expect to compare different load profiles at the same location but with unequal energy demands.

To build such a metric, we rely on the well-established self-sufficiency metric (Luthander et al. 2015) which represents





**Fig. 1:** Illustrative example of modifying the natural self-sufficiency of a load profile from 42% (blue) to 10% (red), and 90% (green).  
Source: authors' own compilation

the percentage of consumption that is covered by local production within 15-minute intervals. However, to provide a metric relative to a load profile and a location, we calculate self-sufficiency for a solar panel capacity that generates the same amount of yearly energy as consumed by the load profile (i.e., a net-zero energy balance). Taking this solar capacity enables to theoretically reach a 100% natural self-sufficiency for any load profile.

The resulting NSS metric provides a way to differentiate the load profiles' ability to absorb solar production. For instance, to differentiate a residential load profile from an office building load profile. The latter is more likely to have a higher NSS as most of its consumption occurs during daylight hours as opposed to a residential scenario.

### Method to create load profiles with a specific natural self-sufficiency

In and of itself, NSS is interesting to differentiate load profiles. Characterizing NSS opens the door to a second phase where we can modify the load profiles to match a given NSS value. There are several reasons to create new load profiles with modified NSS. One reason is to provide lower and upper bounds with regard to variations in load profiles when optimally sizing solar panels.

Another reason, which we explore in this paper is to summarize the impact of any load profile (i.e., with different patterns, and energy demands) on the optimal sizing of solar panels with a single index. This is useful to exhaustively explore the impact of load profiles (from 0 to 100% NSS) on GHG emissions. In a way, we estimate the minimum GHG emission for any load profile, and therefore for any local energy community (at a given location).

To generate new load profiles, we start from an original real-world load profile and implement an optimization-based approach. The objective of the optimization is to make as few changes as possible from the original profile (i.e., minimum mean square error as an objective) to match a certain NSS target.

Further, we impose that the energy consumption remains unchanged and that the previous maximum power demand is not exceeded as additional constraints. The problem results in a mixed-integer quadratic programming problem, for the complete set of equations, we refer the reader to online supplementary materials.

Before closing this section, we illustrate both, the concept of NSS, and modifying load profiles. Fig. 1 shows a load profile with a 42% NSS (in blue), which is then modified to either reach a 10% NSS (in red) or a 90% NSS (in green). The illustration is considered on a single day for simplicity. The 10% NSS target results in little load demand during the day, whereas the 90% target increases demand during daylight hours compared to the original load profile (in blue). For all the profiles, peak demand and overall energy consumption remain the same.

## Natural self-sufficiency as a moderator

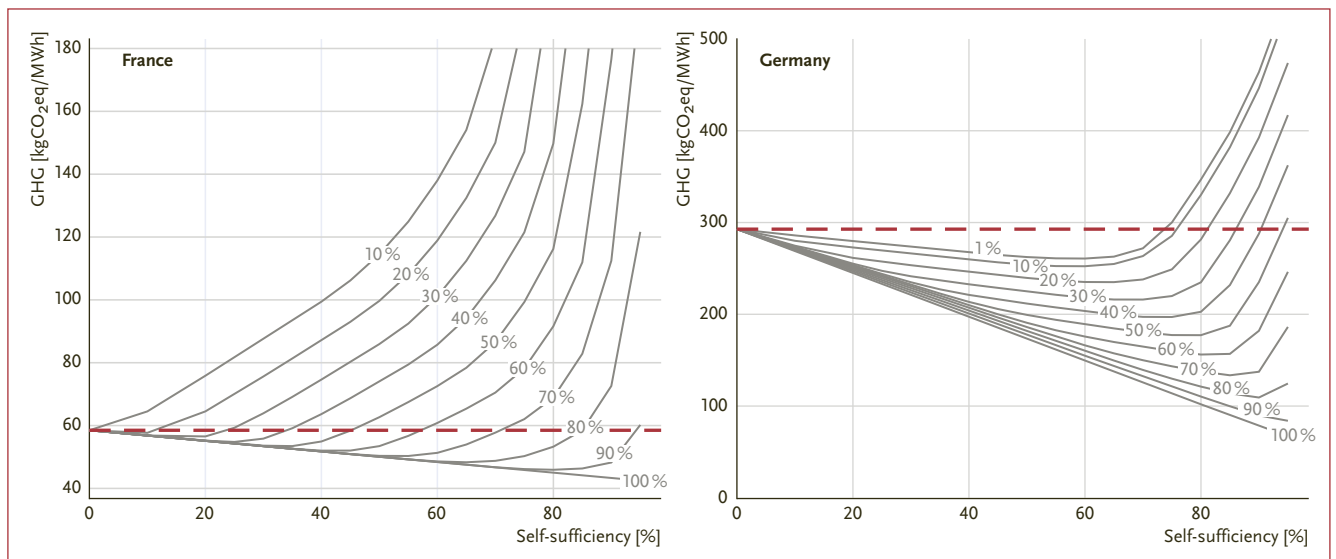
### Motivations and methods

In the previous section, we have explained our methodology to construct load profiles from 0% to 100% NSS. In this section, we explore GHG emissions as a function of NSS (i.e., load profiles), but also as a function of a self-sufficiency target. Including self-sufficiency enables observing GHG emissions for local energy communities where GHG emissions are not the only sizing criteria (e.g., financial costs may lead to a different target in terms of self-sufficiency).

Intuitively, a community expecting to be fully self-sufficient with a NSS index close to zero will need large storage capacities leading to a high GHG impact due to carbon installation costs. On the contrary, achieving 30% self-sufficiency for a community with an already high natural self-sufficiency of 50% might avoid any storage, or oversized solar panels, and thus lead to a low GHG impact. This balance between self-sufficiency and GHG emissions is expressed in Fig. 2 for load profiles with different starting NSS.

Each data point in Fig. 2 is the result of an optimization problem that sizes solar panels, and storage to reach a given self-sufficiency with a minimum amount of carbon emissions. The emissions estimations account for the solar and storage manufacturing ('capital' emissions) as well as the emissions incurred by energy imports from the grid ('operational' emissions). This method to minimize GHG emissions while achieving a given self-sufficiency is described in (Hodencq et al. 2021). In a nutshell, this method mixes short-term constraints (e.g., on a 15 min basis) and long-term constraints (e.g., over 20 years). It covers short-term operations to meet self-sufficiency goals (e.g.,





**Fig. 2:** Greenhouse gas (GHG) emissions as a function of self-sufficiency levels for profiles with 10 % to 100 % natural self-sufficiency, in France (left) and Germany (right).

Source: authors' own compilation

respecting battery physics), as well as long-term considerations such as investment decisions, and equipment aging.

In this work, we consider an average carbon impact of 1040 kgCO<sub>2</sub>/kWh for solar panels (ADEME 2021), and 158 kgCO<sub>2</sub>/kWh for batteries (Peters et al. 2017). To simplify comparing different load profiles, annual average grid emissions factors are considered, for Germany 293 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh and for France 58 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh as per hourly data (electricityMap 2022).

self-sufficiency), the GHG emissions incurred by manufacturing solar panels are compensated by reducing day-to-day emissions from the main grid. However, greater self-sufficiency targets require the installation of larger solar panels and batteries, which also implies significant emissions. Especially, significant battery capacities are needed to cope with successive days of moderate solar production and supply power peaks. In such cases, the operational carbon savings do not compensate for the

*Some energy sufficiency actions can be modelled by  
a homogeneous consumption reduction alone, e.g., lowering the heating  
temperature by 1° Celsius in winter, or disposing of a freezer.*

## Results

Looking at GHG emissions per kWh in France and Germany tells a completely different story (Fig. 2). Since GHG emissions for electricity usage are significantly lower in France, shedding 10 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh is challenging, (i.e., it requires a starting NSS of around 80 % with 3 kWp solar panels per house). Whereas Germany with much higher grid emissions can hope to shed 75 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh realistically (i.e., with a moderate NSS at 30 %, 3.5 kWp of solar panels, and 8 kWh of batteries per household).

Diving further in Fig. 2, we check that when self-sufficiency is at 0 %, all the energy consumption is imported from the main grid, as there is no solar generation installed. Thus, the normalized carbon emissions are equal to the average French and German grid emissions (red dashed line) respectively. In both countries, at low self-sufficiency targets (i.e., 20 %

manufacturing emissions, and the global system GHG emissions can reach values well above those of national grids (especially in France).

## Verifying the hypothesis on natural self-sufficiency

As mentioned earlier, we hypothesize that load profile differences can be summarized through the proposed NSS index when it comes to sizing renewable energy systems (for a given location). To verify this hypothesis, we expect that two load profiles with the same NSS will give identical results in Fig. 3. In other words, any load profile with a given NSS should fall within the corresponding NSS curves from Fig. 3. We then select 4 different load profiles from open-source data sets with NSS of 29 %, 31 %, 33 %, and 39 % respectively (Quoilin 2016; Delinchant et al. 2016).

Below 60 % self-sufficiency, Fig. 3 shows that our hypothesis holds, as all the curves remain within the 30 % to 40 % boundaries. This is a significant result as energy communities most often remain below 65 % self-sufficiency (Quoilin et al. 2016). Beyond 60 % self-sufficiency, the NSS index is not the only parameter to consider, as the GHG impact of batteries becomes significant. In particular, the maximum peak demand, and consecutive days with large energy demand influence the size of the battery required to reach a certain self-sufficiency. It ultimately leads to deviations from the expected GHG emissions given by the reference chart generated with load profiles computed following our methodology.

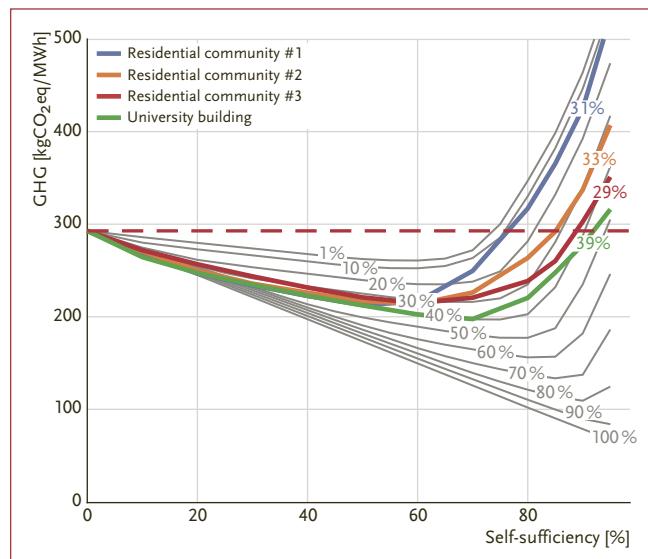
## Observing the effect of energy sufficiency with natural self-sufficiency

### Motivations and methods

Energy sufficiency measures are complementary to other energy transition measures such as efficiency, and the development of renewable energies to replace carbon sources (Samadi et al. 2017). The definition of energy sufficiency is plural (Zell-Ziegler 2021). Here we adopt Bierwirth and Thomas' definition: "actions which reduce energy demand, [...], whilst at the same time changing the quantity or quality of the energy services demanded in a sustainable way and not below people's basic needs" (Bierwirth and Thomas 2019, p. 6). Some energy sufficiency actions can be modelled by a homogeneous consumption reduction alone, e.g., lowering the heating temperature by 1° Celsius in winter, or disposing of a freezer. Yet energy sufficiency actions also relate to the shift and avoidance of particular energy uses (Erba and Pagliano 2021). As such, we model energy sufficiency through a combination of both homogeneous consumption reductions and flexibility in energy use.

We assume that increasing flexibility is analogous to increasing natural self-sufficiency with the ability of a user to 'align' his demand profile to sun peak hours. For instance, an increase of NSS by 10 % means that 10 % of the electric consumption has been shifted to be covered by local solar production (i.e., flexibility).

Further, consumption reduction is modelled as a homogeneous lowering of the load profile each year. While such modelling also corresponds to energy efficiency measures, it is here considered as a component of energy sufficiency as it may also represent a reduction in heating demand. Based on the evolution of buildings consumption in Northern countries (Grubler et al. 2018), we assume an annual reduction in consumption of 2,8 % over the 20-year study horizon (i.e., 23 % less consumption after 20 years). The work of Grubler et al. can be considered a best-case scenario in our study since it is one of the most ambitious scenarios regarding energy demand reduction. Moreover, it considers overall energy usage and not only electricity use, and energy demand reduction in this scenario is due both to energy efficiency and sufficiency.



**Fig. 3:** Verifying the hypothesis on NSS for the German case using four different load profiles with various natural self-sufficiency (specified on each curve).

Source: authors' own compilation

The provided method and supplementary materials enable to explore various levels of sufficiency with different combinations of energy consumption reduction and flexibility. A perspective of this work would be to compare the obtained results to bottom-up approaches, for instance based on Brischke et al. work who consider the number, use patterns and technical characteristics of appliances to reflect reduction, substitution, and adjustment of consumption (Brischke et al. 2015).

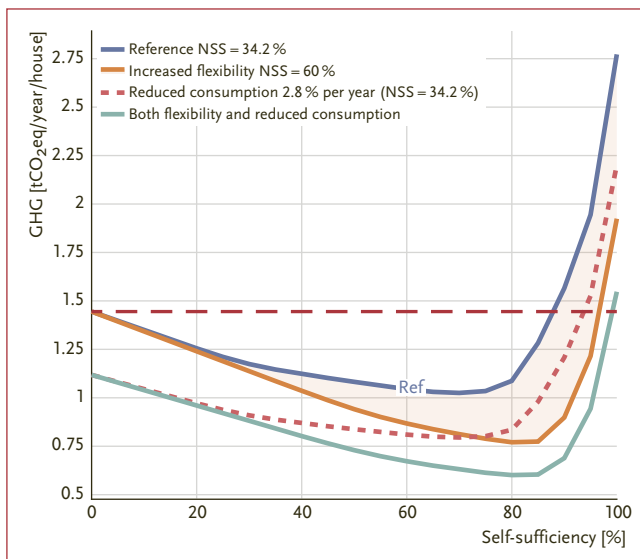
### Results

The results enable to compare the effects of homogeneous energy reduction and flexibility, and to observe the effect of energy sufficiency as their combination.

The impact of consuming less energy, or being more flexible is illustrated in Fig. 4, with GHG emissions (in tCO<sub>2</sub>Eq/house/year) as a function of self-sufficiency for various curves:

- a reference curve (in blue) that is the residential load profile of a 20 houses community with a NSS of 34,2 %,
- a flexibility curve (in orange) where the NSS of the reference curve was increased to reach 60 % (emulating flexibility),
- a reduced consumption curve (in red dotted line) applying the assumption of a steady 2,8 % per year consumption reduction with respect to the reference curve,
- and an energy sufficiency curve (in green) combining both flexibility and consumption reduction.

Let's consider different ranges of self-sufficiency, first between 0 % to 30 %, then between 30 % to 60 %, and finally from 60 % to 100 %. In the first section, with no investment in solar panels or other renewable sources (0 % self-sufficiency), then flex-



**Fig. 4:** Comparing flexibility effects and energy efficiency for a German energy community of 20 houses. *Source: authors' own compilation*

ibility is ineffective. Whereas energy reduction is impactful as carbon emissions are directly proportional to the consumption decrease.

In the second range, for households expecting between 30% to 60% self-sufficiency, flexibility steadily becomes as important as lowering energy consumption. At 60% self-sufficiency, taking the flexibility route or the low demand route leads to different technological mixes. The flexibility route leads to a 69 kWp solar panel with 11 kWh of battery, whereas the reduced consumption requires a smaller 53 kWp solar panel but a much larger 107 kWh battery. In the end, flexibility acts as 'carbon-free' storage with users that actively adapt their load pattern. Although reduced consumption seems to be more impactful in this range, the best route is undoubtedly to work on both fronts at the same time, i.e., energy sufficiency.

The last range is more abstract and is getting closer to a case of energy autonomy since self-sufficiency rates are very high. In this case, flexibility becomes predominant, especially long-term flexibility where winter load demand is moved to summer.

## Conclusion

In this paper, we address the sizing of solar panels plus storage in view of minimizing GHG emissions. We place ourselves in a context where power injection into the upstream grid (i.e., outside of a local energy community) is possible but no longer desired for technical and social reasons.

In that context, load profiles become critical in influencing GHG emissions from solar panels plus storage. Throughout this paper, we illustrate a methodology to quantify this impact for a variety of load profiles, in particular the impact of shift-

ing energy usage during sun peak hours related to energy sufficiency.

From our results, we draw some trends rather than absolute certitudes. For instance, in the French case further reducing emissions by 10 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh is challenging. However, in Germany, communities can hope to shed 75 gCO<sub>2</sub>Eq/kWh realistically, with an overall natural self-sufficiency of 30%, and households equipped with 3.5 kWp solar panels, and 8 kWh batteries. Our results also speak to the limits of relying on high self-sufficiency levels, when simply reducing electricity consumption might be better in terms of GHG emissions. This is clear in France, less in Germany as GHG emissions still decrease until 70% self-sufficiency.

We believe that our proposition for a natural self-sufficiency index and the methodology to modify load profiles is interesting to estimate results on a variety of load profiles (which is often not possible due to the scarcity of available data). In particular, this is a valid solution when load profiles cannot be modified from the ground up using individual appliances' consumption. If local energy communities want to gain confidence with regard to potential load profile changes (e.g., due to unexpected new members), they may use our methodology to apply some variation to their load profile. Further, we expect that this methodology can evolve, for instance by including other parameters like consecutive days without solar production.

Finally, it would be interesting to see how results may change if we account for some GHG emission offsets when exporting power to the upstream grid. Depending on the magnitude of this offset, this would potentially favour installing more solar panels, delay the use of storage systems, and lower the importance of shifting energy usage to daytime.

**Funding** • This work received no external funding.

**Competing interests** • The author declares no competing interests.

## Research data

- ADEME – Agence de la transition écologique (2021): INCER ACV. Environmental impacts of the photovoltaic sector and evaluation of uncertainties. Paris: Agence de la transition écologique. Available online at <http://viewer.webservice-energy.org/incerc-acv/app/>, last accessed on 23.05.2022. Coignard, Jonathan: GHG energy systems sizing. Available online at <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/coignarj/publi-autoconso-acv/-/tree/master>, last accessed on 23.05.2022.
- electricityMap (2022): Get carbon electricity data for your research project! Copenhagen: electricityMap. Available online at <https://electricitymap.org/research/>, last accessed on 16.05.2022.
- Quoilin, Sylvain (2016): Self-Consumption and solar home batteries. Available online at <https://github.com/squoilin/Self-Consumption/releases>, last accessed on 23.05.2022.

## References

- Bierwirth, Anja; Thomas, Stefan (2019): Energy sufficiency in buildings. European Council for an energy efficient economy concept papers. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Available online at

<https://www.energysufficiency.org/libraryresources/library/items/energy-sufficiency-in-buildings-concept-paper/>, last accessed on 25.05.2022.

Brischke, Lars-Arvid; Lehmann, Franziska; Leuser, Leon; Thomas, Stefan (2015): Energy sufficiency in private households enabled by adequate appliances. In: Proceedings of the European Council for an energy efficient economy summer study, pp. 1571–1582. Available online at [https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5932/file/5932\\_Brischke.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5932/file/5932_Brischke.pdf), last accessed on 16.05.2022.

Calero, Ivan; Canizares, Claudio A.; Bhattacharya, Kankar; Baldick, Ross (2022): Duck-Curve Mitigation in Power Grids With High Penetration of PV Generation. In: IEEE Transactions on Smart Grid 13 (1), pp. 314–329. <https://doi.org/10.1109/TSG.2021.3122398>

Delinchant, Benoit; Wurtz, Frédéric; Ploix, Stéphane; Schanen, Jean-Luc; Marechal, Yves (2016): GreEn-ER Living Lab. A green building with energy aware occupants. In: Proceedings of the 5th international conference on Smart Cities and green ICT systems, pp. 316–323. <https://doi.org/10.5220/0005795303160323>

Erba, Silvia; Pagliano, Lorenzo (2021): Combining sufficiency, efficiency and flexibility to achieve positive energy districts targets. In: Energies 14 (15), p. 4697. <https://doi.org/10.3390/en14154697>

Grubler, Arnulf et al. (2018): A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target and sustainable development goals without negative emission technologies. In: Nature Energy 3 (6), pp. 515–527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>

Hodencq, Sacha; Coignard, Jonathan; Twum-Duah, Nana Kofi; Neves Mosquini, Lucas Hajiro (2022): Including greenhouse gas emissions and behavioural responses in the optimal design of PV self-sufficient energy communities. In: COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering. <https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2021-0392>

Huld, Thomas; Müller, Richard; Gambardella, Attilio (2012): A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. In: Solar Energy 86 (6), pp. 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>

Illich, Ivan (1974): Energy and equity. London: Marion Boyars.

Luthander, Rasmus; Widén, Joakim; Nilsson, Daniel; Palm, Jenny (2015): Photovoltaic self-consumption in buildings. A review. In: Applied Energy 142, pp. 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>

Peters, Jens; Baumann, Manuel; Zimmermann, Benedikt; Braun, Jessica; Weil, Marcel (2017): The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters. A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 67, pp. 491–506. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.039>

Quoilin, Sylvain; Kavvadias, Konstantinos; Mercier, Arnaud; Pappone, Irene; Zucker, Andreas (2016): Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems. Statistical analysis and economic assessment. In: Applied Energy 182, pp. 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.077>

Samadi, Sascha; Gröne, Marie-Christine; Schneidewind, Uwe; Luhmann, Hans-Jochen; Venjakob, Johannes; Best, Benjamin (2017): Sufficiency in energy scenario studies. Taking the potential benefits of lifestyle changes into account. In: Technological Forecasting and Social Change 124, pp. 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.013>

Zell-Ziegler, Carina et al. (2021): Enough? The role of sufficiency in European energy and climate plans. In: Energy Policy 157, p. 112483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112483>



### JONATHAN COIGNARD

is a PhD candidate at Grenoble Alpes University and LANCEY Energy Storage since 2019. His research focuses on coordination strategies for energy communities.



### SACHA HODENCQ

graduated from the Grenoble Institute of Engineering in 2017. He is preparing his PhD in electrical engineering since 2019 at the Grenoble Alpes University. His PhD work focuses on the development of models, methods, and tools for a collaborative and open design approach to electrical components and systems, at the service of energy transition.



### NANA KOFI TWUM-DUAH

is a PhD candidate at Grenoble Alpes University since 2020 with a research focus on the complementary use of battery storage and indirect flexibilities to achieve optimal self-consumption.



### DR. RÉMY RIGO-MARIANI

received his PhD in electrical engineering from the Toulouse Institute of Technology 2014. After a post-doctoral fellowship at University of Washington and Nanyang Technological University, he is now a researcher at CNRS, and G2Elab. His research interest lies in modelling and optimization for the management and design of power and energy systems.

RESEARCH ARTICLE

# Transition pathways for the European building sector: Comparison of environmental savings from sufficiency, consistency, and efficiency measures

32

Patrick Zimmermann\*,<sup>1</sup>

**Abstract** • This article addresses the lack of data about the environmental savings potential of sufficiency measures in the European building sector by using the EUCalc tool. The savings potentials of different sufficiency, consistency, and efficiency measures in the impact categories greenhouse gas emissions, energy, and renewable as well as non-renewable resources are calculated. With sufficiency measures, a total of 16% of GHG emissions can be saved compared to an EU past trends scenario. Efficiency and consistency measures save 31% and 22%, respectively. The most effective sufficiency measure is a reduction of living space per capita. The results vary between the impact categories studied.

**Transformationspfade für den europäischen Gebäudesektor:**  
Vergleich von Umwelteinsparungen durch Suffizienz-, Konsistenz- und Effizienzmaßnahmen

**Zusammenfassung** • Dieser Artikel adressiert die ökologischen Einsparpotenziale von Suffizienzmaßnahmen im europäischen Gebäudesektor. Unter Verwendung des EUCalc-Tools werden die Reduktionen verschiedener Suffizienz-, Konsistenz- und Effizienzmaßnahmen in den Wirkungskategorien Treibhausgasemissionen, Energie und erneuerbare sowie nicht erneuerbare Ressourcen berechnet. Durch Suffizienzmaßnahmen können insgesamt 16% der THG-Emissionen im Vergleich zu einem EU Past Trends-Szenario eingespart werden. Durch Effizienz- und Konsistenzmaßnahmen lassen sich analog 31% bzw. 22% einsparen. Die wirksamste Suffizienzmaßnahme ist die Verringerung der Pro-Kopf-Wohnfläche. Die genauen Ergebnisse variieren zwischen den untersuchten Wirkungskategorien.

**Keywords** • sufficiency, consistency, efficiency, buildings, emissions

This article is part of the Special Topic “Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>

## Introduction

The building and construction sector has a major impact on Europe’s ecological footprint, accounting for 36% of greenhouse gas (GHG) emissions and 40% of energy consumption (European Commission 2020 a). Construction also contributes to almost 36% of total waste generated (EC SOEU 2020).

To reduce these negative environmental impacts, political actions have so far relied primarily on technological approaches as can be seen, for example, in the Energy Performance of Buildings Directive (EPCEU 2021), the ‘Renovation Wave’ (European Commission 2020 b) and the New European Bauhaus Initiative (ECJRC 2021). All of these approaches focus on either efficiency – through thermal insulation and renovation – or consistency – through natural or circular building materials and renewable energies.

\* Corresponding author: [patrick.zimmermann@b-tu.de](mailto:patrick.zimmermann@b-tu.de)

<sup>1</sup> Chair of Sustainable Building Construction and Design, Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg, Cottbus, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY). <https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>  
Received: Dec. 14, 2021; revised version accepted: Apr. 25, 2022;  
published online: Jul. 18, 2022 (peer review)



But with the current policies alone, GHG emissions, for example from residential buildings, will decrease by only 30% by 2050 (Kruit et al. 2020). The reasons for this include lack of ambition, mainstreaming and implementation (Staniaszek et al. 2021), but also the occurrence of rebound effects – especially as rising per capita living space counteracts square meter-related energy savings (Bierwirth and Thomas 2015) – and the failure to take sufficiency into account.

## *What savings in terms of greenhouse gas emissions, energy demand, and renewable and non-renewable resource demand can be achieved with building-related sufficiency measures in Europe?*

In general, sufficiency is defined as “modification of consumption patterns that help to respect the Earth’s ecological limits, while aspects of consumer benefit change” (Fischer and Griebhammer 2013, p. 5). Therefore, sufficiency complements solely technical approaches to efficiency and consistency with a strong orientation towards people’s basic needs (Over et al. 2021, p. 204).

Translated into buildings, this means “an appreciative, needs-oriented and environmentally friendly approach to the use of existing resources, that is, land, material and natural resources” (Over et al. 2021, p. 204, author’s translation). Therefore, the preservation and renewal of existing buildings has to be a priority. Only if the corresponding requirements cannot be met in this way can extensions to the existing building stock be considered, and only in absolutely exceptional cases new buildings. (Deutscher Städtetag 2021, p. 6). In addition, other important sufficiency aspects that can be found in the literature are the reduction of per capita living space (e.g., through shared living concepts), low-tech construction and energy concepts, participatory planning processes, and needs-based building operation (Zimmermann 2018).

### Quantifying building-related sufficiency measures in Europe

While the savings potentials of technological sustainability strategies have been quantified in many cases, calculations are still missing for sufficiency. Only a few studies consider building-related sufficiency aspects at all. They look either at the global (Grubler et al. 2018; Kuhnenn et al. 2020), national (Association négaWatt 2018; Cordroch et al. 2021; Purr et al. 2019; Sterchele et al. 2020) or regional level (Steinbach and Deurer 2021) and are, with one exception (Purr et al. 2019), limited to GHG emissions and energy demand. Currently, there is no scenario that focuses on the building and construction sector and examines other impact categories besides GHG emissions at the European level.

This article, therefore, aims to quantify what savings in terms of GHG emissions, energy demand, and renewable and non-renewable resource demand can be achieved with building-related sufficiency measures in Europe. For comparison purposes, the potentials for efficiency and consistency measures were also calculated. The potentials are theoretical maximum values without taking into account implementation difficulties or rebound effects.

### Method

To quantify these potentials, a modelling approach based on the European Calculator and the corresponding web interface Transition Pathways Explorer is used (hereafter referred to as EU Calc). It aims to bridge the gap between conventional, complex, “integrated climate-energy-economy models and the practical needs of decision-makers” (Strapasson et al. 2020, p. 5). The geographical scope of EU Calc is EU27, including the UK and Switzerland. The model consists of 15 interdependent modules that represent the supply and demand side in all sectors. Users can choose between four ambition levels in different individual levers, which are divided into superordinate lever groups and topics, and thus create scenarios for which the tool models the European-wide impacts in all sectors up to the year 2050 (Climate Media Factory UG n.d.; Pestiaux et al. 2019; PIK n.d.; Strapasson et al. 2020).

In this paper, the term *building sector* refers to all levers that have an influence on the life cycle of buildings of any type of use (residential and non-residential), including its household appliances. *Key behaviors* include all levers of the lever group *homes* as well as household appliance-related levers from the lever group of *consumption*. The entire lever group *buildings* was selected from the *technology and fuels* topic. In the lever group *manufacturing*, all levers except carbon capture technologies were also included because they influence the production of building materials and thus the environmental impacts along the life cycle of buildings. Since there is a direct link to buildings through the local production of renewable energies on roofs and facades, the lever *solar* energy was also examined from the lever group *power* (Climate Media Factory UG n.d.; PIK n.d.).

It should be noted that the levers in *manufacturing* and *power* also have an impact outside of the building sector. One example is that through more renewable energies in the electricity mix the mobility sector is also decarbonized via electromobility. This circumstance cannot be avoided entirely with the EU Calc and must be taken into account when interpreting the results. Despite this disadvantage, EU Calc was selected because, on the one hand, it allows several impact categories to be cal-

Name	Lever	Lever group	Past trends values <sup>1</sup>	Scenario values <sup>2</sup>	Explanation
<b>S_Appl_own</b>	Appliances owned	Homes	1 0.7 0.45 1.1 0.8 1.4 2.5 1.5	0.8 0.5 0.4 1 0.5 1.1 1.3 1	Number of appliances per household in 2050: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Washing machines</li> <li>• Dishwashers</li> <li>• Dryers</li> <li>• Fridges</li> <li>• Freezers</li> <li>• TVs</li> <li>• Computers</li> <li>• Phones (per person)</li> </ul>
<b>S_Appl_use</b>	Appliance use	Homes	0.45 1 0.45 24 24 2 4,3 24	0.3 0.7 0.3 24 24 1 1 24	Daily use of appliances per household in hours in 2050: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Washing machine</li> <li>• Dishwasher</li> <li>• Dryer</li> <li>• Fridge</li> <li>• Freezer</li> <li>• TV</li> <li>• Computer</li> <li>• Phone (per person)</li> </ul>
<b>S_Appl_rt</b>	Appliance retirement timing	Consumption	96 % 93 % 93 % 96 % 96 % 83 % 90 % 90 %	110 % 110 % 110 % 110 % 110 % 130 % 130 % 130 %	Replacement factor in % of product lifetime in 2050: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Washing machine</li> <li>• Dishwasher</li> <li>• Dryer</li> <li>• Fridge</li> <li>• Freezer</li> <li>• TV</li> <li>• Computer</li> <li>• Phone (per person)</li> </ul>
<b>S_Cool</b>	Percentage of cooled living space	Homes	21.8 %	10.6 %	Residential living space is cooled in 2050
<b>S_Comf</b>	Space cooling & heating	Homes	18 °C	20 °C	Cooling comfort temperature
<b>S_m2</b>	Living space per person	Homes	55 m <sup>2</sup> /cap	37 m <sup>2</sup> /cap	Living space per person in 2050
<b>E_Appl</b>	Appliance efficiency	Buildings	B	E	Appliances with A+++ EU energy label in 2021 will be rated in 2050 as ...
<b>E_BE</b>	Building envelope	Buildings	1 % 80 / 15 / 5 %	3 % 0 / 30 / 70 %	Renovation rate Share of new constructions and renovations with lowest/medium/highest level of efficiency (-30/40/60 % useful energy demand compared to average building stock)
<b>E_DH</b>	District heating share	Buildings	8.4 %	16.5 %	District heating share in 2050
<b>E_Ene</b>	Energy efficiency	Manufacturing	3–8 %	10–24 %	Range of increased energy efficiency across sectors
<b>E_HC</b>	Heating and cooling efficiency	Buildings	3 % / 5 %	18 % / 31 %	Efficiency increases for heating systems: fossil/biomass
<b>E_Mat</b>	Material efficiency	Manufacturing	2–8 %	10–33 %	Improvement rate ranges depending on the product and material
<b>E_Tec</b>	Technology efficiency	Manufacturing	No major shifts	Heavily electrified Up to 20 % 24 %	Electrification of iron and steel process Use of geopolymers in cement production Average share of secondary production routes

Name	Lever	Lever group	Past trends values <sup>1</sup>	Scenario values <sup>2</sup>	Explanation
C_Fuel	Fuel mix	Manufacturing	No major shifts	Full potential is exploited	Electrification of heat, use of zero-carbon hydrogen, and a switch to sustainable biomass
C_Mat	Material switch	Manufacturing	No major shifts	approximately 30 %	Substitution of carbon-intensive materials with lightweight materials
C_TFS	Technology and fuel share	Manufacturing	No major shifts	Almost complete	Fossil fuel phase-out for all fuels across Europe
C_Solar	Solar	Power	200	700	Gigawatt Photovoltaic and Concentrating Solar Power in 2050

1 Equals the lowest ambition level (1) in EUCalc.  
2 Equals the highest ambition level (4) in EUCalc.

Tab. 1: Analyzed individual measure scenarios.

Source: author's own compilation based on data from Climate Media Factory UG (n.d.) and PIK (n.d.)

culated with the same tool and thus the same framework conditions. On the other hand, behavioral changes and thus central sufficiency measures can be taken into account very well and independently through exogenous lever inputs (Costa et al. 2021).

The calculations for this paper were performed in the period April–November 2021, and results are consequently based on the EUCalc version of this period.

## Scenarios

The starting point for the definition of my measures and scenarios is the past trends scenario stored in EUCalc<sup>1</sup> (Climate Media Factory UG n.d.). In this basic scenario, past trends in the EU are largely projected into the future. It was chosen as a starting point because it allows for a comparatively undisturbed view of the individual measures. If other baseline scenarios had been used, there would have already been assumptions in the building and other sectors, which is why the calculated savings potentials would have to be interpreted against this background. With the past trends as a baseline, on the other hand, it is easier to calculate (theoretical) maximum savings. This makes a simpler comparison between the three sustainability strategies possible. One disadvantage is that current (political) developments are not sufficiently taken into account. However, since the goal is not to develop a comprehensive and realistic emission reduction pathway, the chosen approach is adequate.

The past trends pathway forms the basis for the creation of the individual measure scenarios listed in Table 1, with each being assigned to one of the three sustainability strategies. The boundary conditions and settings on resources and land use as well as all other measures – not relevant for this study (e.g., in the lever groups travel, transport, and food) – were not varied.

An overview of the 17 single measures investigated is given in Table 1. The classification regarding efficiency (E), consistency (C), and sufficiency (S) was made independently.

<sup>1</sup> The full scenario explanations can be accessed via the EUCalc Transition Pathways Explorer.

The individual measure scenarios were summarized for each of the three sustainability strategies (S\_Sum, E\_Sum, C\_Sum). There are also combination pathways that combine the two technical approaches (EC\_Sum) and all three – representing the best case (ECS\_Sum).

## Impact categories

The following impact categories were analyzed to compare the environmental performances of the scenarios and pathways. They all refer to the period from 2020 to 2050 and include all sectors, not only buildings, to assess the impact on and relevance to society and the economy as a whole. “Intra and extra EU27+2 trade dynamics” (Costa et al. 2021, p. 3), as well as trade with the rest of the world, is also taken into account via EUCalc (Clora and Yu 2020; Price et al. 2019).

- *GHG emissions*: Following the GHG budget approach (WBGU 2009), the sum of all GHG emissions in all sectors from 2020 up until 2050 is calculated in gigatons [Gt]. As the EUCalc model only provides values in five-year steps, linear interpolation was performed to calculate the total emissions.
- *Energy demand*: The final energy demand across all sectors in 2050 in TWh/a was calculated and compared.
- *Non-renewable resource demand*: Is defined as the sum of sand demand for cement and glass production plus iron demand for steel production that is used in buildings, infrastructure, and household appliances. It is calculated as the sum from 2020 to 2050 megatons [Mt].
- *Renewable resource demand*: Summarizes wood demand as building material and for bioenergy. Interpolation and summation are analogous to GHG emissions. The unit is megatons [Mt].

## Results

The results of the calculations are compared below, sorted by the various impact categories. The achievable savings in brackets are a comparison with the past scenario. The results in each case

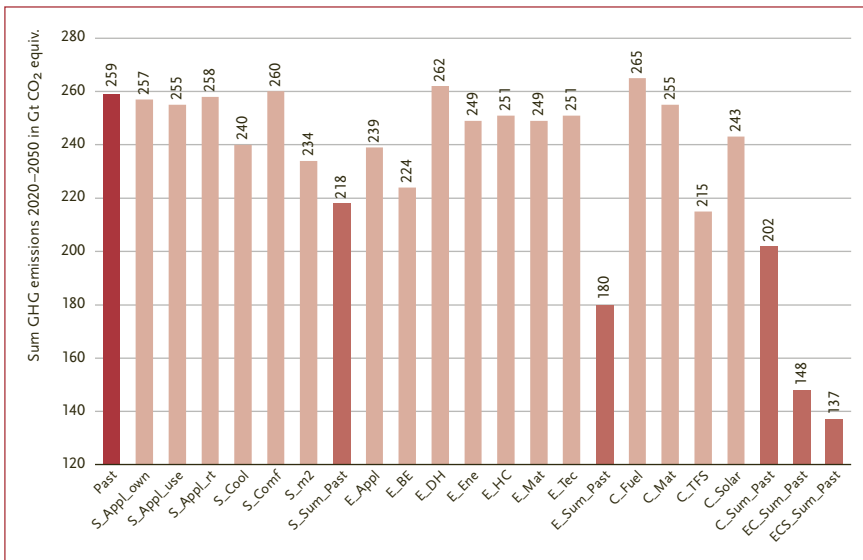


Fig. 1: Sum of European greenhouse gas emissions in all sectors from 2020 to 2050 by scenario. Source: author's own compilation based on EUCalc results

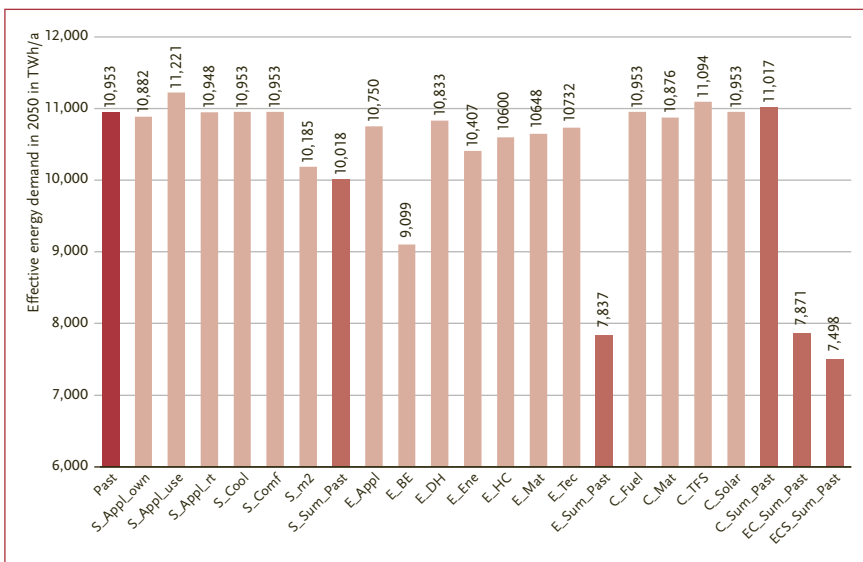


Fig. 2: Effective energy demand in 2050 by scenario. Source: author's own compilation based on EUCalc results

represent totals across all sectors. It needs to be mentioned again that due to the definition of the scope of this study, the efficiency and consistency scenarios related to the lever groups *manufacturing* and *power* also have impacts on other sectors than buildings and therefore have higher reduction potentials. This must be taken into account when interpreting the results.

**GHG emissions**

As can be seen in Fig. 1, the two most effective sufficiency measures are S\_m2 (-10%) and S\_cool (-7%), which are both below the top five of the individual measures. The highest reduc-

tions are achieved in C\_TFS (-17%) and E\_BE (-14%). Some measures also lead to higher emissions than the past scenario. One example is E\_DH. Due to the individual adjustments of the individual measures, in this case the sole conversion to district heating without a simultaneous switch to renewable energies (C\_TSF) does not lead to savings. In sum, all the sufficiency measures combined lead to a 16% reduction of the GHG emissions and are thus clearly behind those of efficiency (-31%) and consistency (-22%). The sum of all measures examined leads to a reduction in total GHG emissions of 47%.

**Energy**

Fig. 2 shows that the only sufficiency scenario reaching noticeable energy savings is S\_m2 (-7%). E\_BE saves the highest amount of energy (-17%). In principle, it is primarily the efficiency measures that achieve savings. Consistency measures, except for C\_Mat (-1%), do not achieve any savings, but even lead to additional demands (C\_TFS: +1%). That is also the case for the summarizing consistency pathway (C\_Sum: +1%). The sufficiency measures can save 9%, the efficiency measures 28%, and the summarizing pathway 32% in energy demand.

**Non-renewable resource demand**

Also, in this impact category – the results are shown in Fig. 3 – S\_m2 achieves the highest reduction from the sufficiency scenarios (-9%) while the others can be neglected. In sum, all the sufficiency measures lead to savings of 10% (S\_Sum). The highest overall savings are reached with Emit (-10%). But in the efficiency sum scenario, this is compensated by E\_

BE, which increases the non-renewable resource demand through the high number of new constructions (+13%). Therefore, the E\_Sum pathway leads to higher consumption (+2%). From the consistency measures, only C\_Mat shows a significant reduction potential (-3%), which is the same result as for C\_Sum.

**Renewable resource demand**

The only sufficiency measure achieving reductions here (Fig. 4) is S\_m2. With 61% savings, it is by far the most effective scenario of all. Most of the other measures – especially efficiency and consistency – only reduce the wood demand by about 1%.

In contrast, E\_BE and C\_Mat lead to an increase in renewable resource demand by 9% and 43%, respectively. The reason for this increase is the huge amount of demolition and new construction (E\_BE) as well as the ambitious switch from building materials like concrete to wood (C\_Mat). It is the same for the sum scenarios. Even here, S\_m2 is more successful in reducing the demand than the maximum pathways ECS\_Sum (-16%). In this impact category it can also be seen that the combination of the two technological sustainability strategies has a positive interaction as the difference between EC\_sum\_Past and C\_sum\_Past is higher than the difference between E\_sum\_past and Past.

### Comparison with other basic scenarios

The previous results all refer to the past trends scenario as the basis. Table 2 shows the reduction potentials of the sum pathways compared to other basic scenarios from EUCalc. Detailed descriptions of those basic scenarios can be found in the EUCalc documentation (Climate Media Factory UG n.d.; PIK n.d.).

- *EU reference* (EU\_ref) is based on a modelling of a European reference scenario commissioned by the EU Commission, which meets the GHG and renewable targets for 2020 and implements other agreed climate protection measures (Capros et al. 2016).
- *LTS baseline* (LTS\_base) is based on the simulations conducted as part of the scenario development for the 'European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral economy' (European Commission 2018).
- *Ambitious*: Here, an unprecedented transformation is assumed. Very ambitious efforts are made to reduce emissions, both in terms of behavioral changes and technology.

## Conclusion

The results show significant savings through sufficiency across all impact categories. It achieves the highest savings in renewable and non-renewable demand where the technological strategies can lead to overconsumption, even though savings from ef-

iciency and consistency tend to be overestimated due to the selected method. For greenhouse gas emissions, on the other hand, efficiency and consistency are ahead of sufficiency. In terms of energy consumption, efficiency achieves the greatest savings, followed by sufficiency, while consistency results in increased demand. The most effective sufficiency measure in all impact categories is the reduction of living space per capita. The most effective efficiency and consistency measures vary between the impact categories. A combination of all three sustainability strategies shows the highest savings across all impact categories examined, with the exception of renewable resource demand.

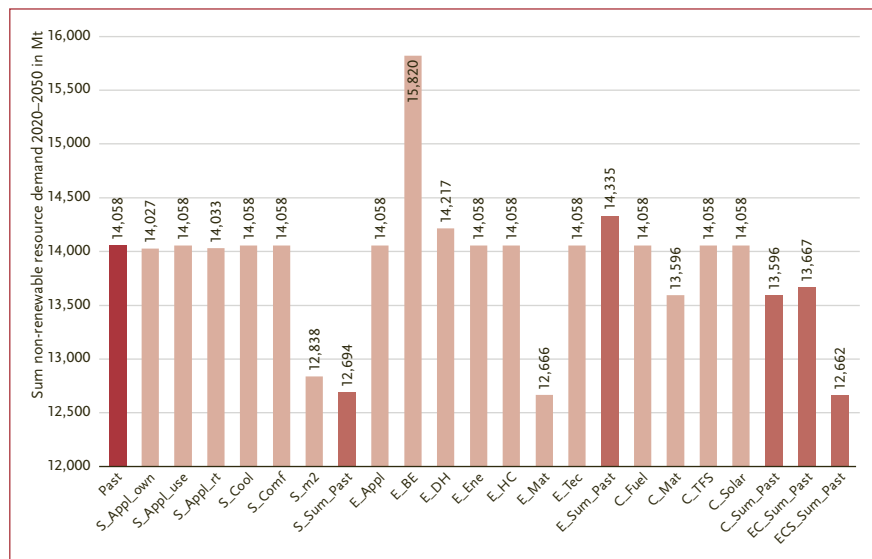


Fig. 3: Sum of European non-renewable resource demand in all sectors from 2020 to 2050 by scenario.

Source: author's own compilation based on EUCalc results

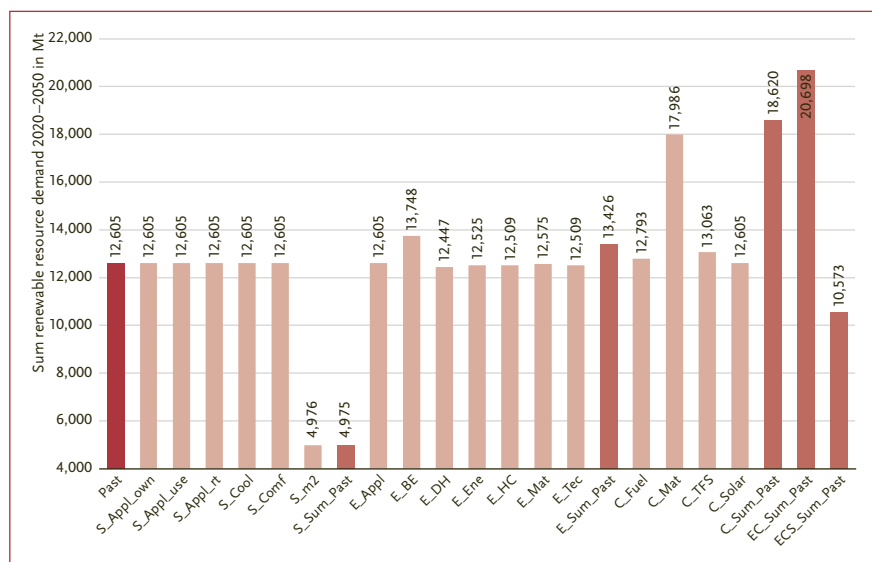


Fig. 4: Sum of European renewable resource demand in all sectors from 2020 to 2050 by scenario.

Source: author's own compilation based on EUCalc results



Scenario	GHG emissions	Effective energy demand	Non-renewable resource demand	Renewable resource demand
S_Sum	-10 %	-9 %	-10 %	-61 %
E_Sum	-32 %	-28 %	+2 %	+7 %
C_Sum	-22 %	+1 %	-3 %	+48 %
EC_Sum	-43 %	-28 %	-3 %	+64 %
ECS_Sum	-47 %	-32 %	-10 %	-16 %
EU_ref	-20 %	-18 %	-4 %	+39 %
LTS_base	-41 %	-26 %	-4 %	+9 %
Ambitious	-91 %	-69 %	-31 %	+2 %

**Tab.2:** Comparison of sum pathways with different basic scenarios. Numerical values given refer to percentage reductions compared to the past trends scenario.

Source: author's own compilation based on EUcalc results

Given its significant savings potentials, sufficiency measures must be increasingly considered in further European modelling to make the results more reliable. Sufficiency also needs to be addressed with policy instruments so that the theoretical savings can actually be realized. Special attention or additional studies should be devoted to rebound effects, which have not been investigated in this work. Additionally, it is particularly important to consider equity and justice aspects in order to ensure the acceptance of necessary (major) behavioral changes.

**Funding** • This work received no external funding.

**Competing interests** • The author declares no competing interests.

## References

- Association négaWatt (ed.) (2018): Energy sufficiency. Towards a more sustainable and fair society. Available online at <https://www.negawatt.org/energy-sufficiency>, last accessed on 02. 05. 2022.
- Bierwirth, Anja; Thomas, Stefan (2015): Almost best friends – sufficiency and efficiency. Can sufficiency maximise efficiency gains in buildings? ECEEE 2015 summer study. Available online at <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-59318>, last accessed on 02. 05. 2022.
- Climate Media Factory UG (n.d.): EUcalc. European Calculator. Available online at <http://tool.european-calculator.eu/intro>, last accessed on 02. 05. 2022.
- Clora, Francesco; Yu, Wusheng (2020): EU Calculator – WP7. Transboundary effects module documentation. Available online at [www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2020/04/EUcalc\\_Transboundary\\_documentation.pdf](http://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2020/04/EUcalc_Transboundary_documentation.pdf), last accessed on 02. 05. 2022.
- Cordroch, Luisa; Hilpert, Simon; Wiese, Frauke (2021): Why renewables and energy efficiency are not enough. The relevance of sufficiency in the heating sector for limiting global warming to 1.5 °C. In: Technological Forecasting and Social Change (175), p. 121313. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121313>
- Capros, Pantelis et al. (2016): EU reference scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions – trends to 2050. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Costa, Luís et al. (2021): The decarbonisation of Europe powered by lifestyle changes. In: Environmental Research Letters 16 (4), p. 044 057. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe890>
- Deutscher Städtetag (ed.) (2021): Nachhaltiges und suffizientes Bauen in den Städten. Berlin: Deutscher Städtetag Berlin und Köln.
- European Commission (2018): In-depth analysis in support on the COM (2018) 773. A clean planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy (in-depth analysis in support of the Commission Communication COM (2018) 773). Brussels: European Commission.
- European Commission (2020 a): In focus. Energy efficiency in buildings. Brussels: European Commission. Available online at [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/events/documents/in\\_focus\\_energy\\_efficiency\\_in\\_buildings\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/events/documents/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_en.pdf), last accessed on 02. 05. 2022.
- European Commission (2020 b): A renovation wave for Europe. Greening our buildings, creating jobs, improving lives. Brussels: European Commission.
- ECJRC – European Commission, Joint Research Centre (2021): New European Bauhaus. About the initiative. Available online at [https://europa.eu/new-european-bauhaus/about/about-initiative\\_en](https://europa.eu/new-european-bauhaus/about/about-initiative_en), last accessed on 02. 05. 2022.
- ECSOEU – European Commission; Statistical Office of the European Union (2020): Energy, transport and environment statistics. 2020 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2785/522192>
- EPCEU – European Parliament; Council of the European Union (2021): Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Brussels: European Commission.
- Fischer, Corinna; Griebhammer, Rainer (2013): Mehr als nur weniger – Suffizienz. Begriff, Begründung und Potenziale. Öko-Institut Working Paper 2/2013. Freiburg: Öko-Institut. Available online at: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/mehr-als-nur-weniger-suffizienz-begriff-begrueundung-und-potenziale>, last accessed on 02. 05. 2022.
- Grubler, Arnulf et al. (2018): A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. In: Nature Energy 3 (6), pp. 515–527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- Kruit, Katja et al. (2020): Zero carbon buildings 2050. Background report. Available online at <https://policycommons.net/artifacts/1999878/zero-carbon-buildings-2050/2751643>, last accessed on 02. 05. 2022.
- Kuhnenn, Kai; Costa, Luis; Mahnke, Eva; Schneider, Linda; Lange, Steffen (2020): A societal transformation scenario for staying below 1.5 °C. Berlin: Heinrich Böll Foundation and Konzeptwerk neue Ökonomie.

- Over, Margarete; Zimmermann, Patrick; Brischke, Lars-Arvid (2021): Wie muss man bauen, um suffizientes Wohnen zu ermöglichen? In: Proceedings of 26<sup>th</sup> Interdisziplinäre Wissenschaftlichen Konferenz Mittweida, 6 p. Mittweida: s.n. <https://doi.org/10.48446/opus-12326>
- Pestiaux, Julien et al. (2019): Introduction to the EUCalc model. Cross-Sectoral Model description and documentation. Available online at [www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc\\_Cross-Sectoral\\_description\\_September2019.pdf](http://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc_Cross-Sectoral_description_September2019.pdf), last accessed on 02.05.2022.
- PIK – Potsdam Institute for Climate Impact Research (n.d.): EU-CALC. Explore sustainable European futures. Available online at <https://www.european-calculator.eu>, last accessed on 02.05.2022.
- Price, Jeff; Warren, Rachel; Forstenhaeusler, Nicole; Jenkins, Stuart (2019): EU Calculator: WP1. Climate and emissions module documentation. Available online at [https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc\\_Climate\\_documentation.pdf](https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc_Climate_documentation.pdf), last accessed on 02.05.2022.
- Purr, Katja; Günther, Jens; Lehmann, Harry; Nuss, Philip (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Staniaszek, Dan; Kockat, Judit; Broer, Rutger; Álvarez, Xerome (2021): The road to climate-neutrality. Are national long-term renovation strategies fit for 2050? Brussels: BPIE.
- Steinbach, Jan; Deurer, Jana (2021): Bewertung des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials ausgewählter Maßnahmen im Bereich Gebäude und Wohnen für das Land Bremen. Karlsruhe: IREES.
- Sterchele, Philip et al. (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- Strapasson, Alexandre; Mwabonje, Onesmus; Woods, Jeremy; Baudry, Gino (2020): Pathways towards a fair and just net-zero emissions Europe by 2050. Insights from the EUCalc for carbon mitigation strategies. EUCalc Policy Brief (9), 53 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33445.45288>
- WBGU – German Advisory Council on Global Change (ed.) (2009): Solving the climate dilemma. The budget approach. Berlin: WBGU.
- Zimmermann, Patrick (2018): Bewertbarkeit und ökobilanzieller Einfluss von Suffizienz im Gebäudebereich. (Masterthesis) Munich: TU Munich. Available online at <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1546825/1546825.pdf>, last accessed on 02.05.2022.

#### PATRICK ZIMMERMANN

studied Building Climatology (B. Eng.) and Energy-Efficient & Sustainable Building (M. Sc.) at the OTH Regensburg and the TU Munich, respectively. Afterwards, he worked as a climate and energy policy advisor at WWF Germany. Since September 2020, he has been a research assistant and doctoral candidate at the BTU.

RESEARCH ARTICLE

# Impact chains of energy sufficiency policies: A proposal for visualization and possibilities for integration into energy modeling

40

Carina Zell-Ziegler<sup>\*1</sup> , Johannes Thema<sup>2</sup> 

**Abstract** • Impact chains are used in many different fields of research to depict the various impacts of an activity and to visualize the system in which this activity is embedded. Research has not yet conceptualized impact chains specifically for energy sufficiency policies. We develop such a concept based on current evaluation approaches and extend these by adding qualitative elements such as success factors and barriers. Furthermore, we offer two case studies in which we test this concept with the responsible climate action managers. We also describe options for integrating these impact chains into different types of energy models, which are key tools in policy consulting.

## Wirkketten von Energie-Suffizienzpolitiken:

Ein Vorschlag zur Visualisierung und Möglichkeiten der Integration in die Energiemodellierung

**Zusammenfassung** • Wirkketten werden in vielen verschiedenen Forschungsfeldern angewandt, um die Effekte einer Aktivität aufzuzeigen und das System zu visualisieren, in das die Aktivität eingebunden ist. Ein spezielles Konzept für Wirkketten von Energie-Suffizienzpolitiken fehlt bislang. Wir entwickeln ein solches basierend auf aktuellen Evaluierungsansätzen, erweitert durch qualitative Elemente wie Erfolgsfaktoren und Barrieren und wenden es in zwei Fallbeispielen zusammen mit den verantwortlichen Klimaschutzmanager\*innen an. Zudem beschreiben wir Optionen, wie diese Wirkketten in verschiedene existierende

*Energiemodelle integriert werden können, die Schlüsselemente der Politikberatung sind.*

**Keywords** • energy sufficiency, sufficiency policy, impact chains, impact assessment, energy modeling

*This article is part of the Special Topic “Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>*

## Introduction

Despite the huge potential of energy sufficiency policies and the fact that they are needed in order to meet the climate and sustainability targets (IPCC 2022; Faber 2012; Samadi et al. 2017), they are seldom considered as options for climate protection. They do not play a substantial role in the plans of European Union Member States to fulfil their mid- and long-term climate targets (Zell-Ziegler et al. 2021) and hardly feature in non-official scenarios for decarbonization on a global or country level (Samadi et al. 2017; Zell-Ziegler and Förster 2018; Wiese et al. 2022).

One reason for this is the lack of existing impact quantifications for these policies. However, the science base is broadening (e.g. Creutzig et al. 2021; Vita et al. 2019; Akenji et al. 2019; Fischer et al. 2020). An important obstacle is the frequently perceived complexity of sufficiency (Zell-Ziegler and Förster 2018), especially in relation to technical emission abatement options like efficiency and renewable energy policies. Sufficiency policies often concern more general questions of sustainable development and commonly entail socio-economic aspects outside the techno-economic realm of most existing models (Fuchs et al. 2021; Darby and Fawcett 2018; O’Neill et al. 2018).

\* Corresponding author: [c.zell-ziegler@oeko.de](mailto:c.zell-ziegler@oeko.de)

<sup>1</sup> Oeko-Institut e. V., Berlin, DE

<sup>2</sup> Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).  
<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>  
Received: Feb. 22, 2021; revised version accepted: May 03, 2022;  
published online: Jul. 18, 2022 (peer review)

## Impact chains in theory and practice

Impact chains are a means to structure and illustrate the stepwise logic for an action from cause to impact (Gross 2018). This approach enables the different effects and impacts to be traced, especially in complex systems. A concept for impact chains that is geared to (energy) sufficiency policies has not yet been developed.

In this paper, we develop such a concept and propose the elements which such impact chains should encompass, e.g., the manifold effects which (energy) sufficiency policies have and the requirements for and the barriers to unfold their potential. In addition, we propose a visualization of these impact chains, as this increases transparency and helps to improve the understanding of energy sufficiency policies. With two climate action managers, we evaluate the impact chain using sufficiency policies which they recently implemented.

In a further step, we explore ways in which and to what extent energy sufficiency impact chains can be integrated into energy models and what alternatives there are for integrating important aspects of the impact chain into models. This is important because models are key tools for policy consulting. Only if sufficiency policies can be quantified like efficiency and consistency policies will they have a chance to play a similar role in policy design.

## Definitions and methods

We define the relevant terms for this research as follows:

- “*Sufficiency policies* are a set of measures and daily practices that avoid demand for energy, materials, land and water while delivering human wellbeing for all within planetary boundaries” (IPCC 2022, p. 41, emphasis by the authors). In this paper, we focus on energy sufficiency; we sometimes use the more abbreviated term “sufficiency” in the text.
- *Causal/Impact chains* are “[s]equentially linked mechanisms and their enabling background conditions.” (Gross 2018, p. 1)
- “A *policy instrument* is a governmental interference with the aim to realize interventions which promote the implementation of measures.” (translated from Fischer et al. 2016, p. 76, emphasis by the authors)

Impact chains are widely used in policy evaluation and (model-based) impact assessments of policies which take a variety of approaches: qualitative theory-based evaluations and quantitative accompanying or ex-post evaluations/impact assessments (Schlomann et al. 2020; OECD 2009; DeGEval 2016). The aim in using impact chains is to attribute effects such as behavioral change and greenhouse gas (GHG) emission reductions to an activity, e.g., a funding program or an information campaign. We take the standard concept as described in IMWG (2014) and further develop it to a conceptual model for energy sufficiency impact chains by extending and revising the elements. Therefore,

we compile the requirements and translate them into the impact chain logic. The resulting model is described and visualized in the results chapter below.

We assessed the chain model for workability and we selected two recently implemented energy sufficiency policies at the local level in Germany within the mobility sector, which use different types of policy instruments: the ban of short-haul flights at the Eberswalde University for Sustainable Development and a pedelec rental service in the Lüchow-Dannenberg district in Lower Saxony. Next, we applied four steps in setting up the impact chains: 1) We developed a first draft based on public and internal material for Lüchow-Dannenberg and a preliminary talk with the sustainability manager for Eberswalde. 2) We interviewed each climate action manager for about 30–60 minutes; the interviews were semi-structured according to the elements of the impact chains. The climate action managers seemed suitable as interview partners because they planned and implemented the policies and thus have an interest in its success and know barriers from their own experience. The aim of these interviews was to revise or verify the impact chain drafts. 3) We consolidated the impact chains and 4) the final draft was sent to the climate action managers for approval. The visualized impact chains for the case studies can be found in the results chapter.

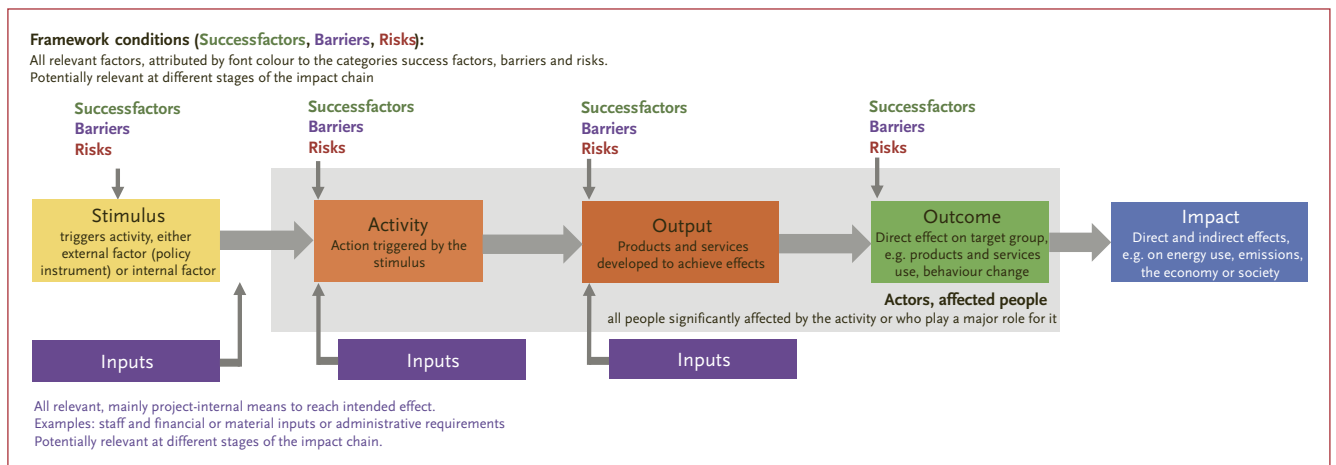
On a general level, we took into account conditions and options for ways in which impact chains may be integrated into different model types. To this end, we screened an exemplary list of energy modelling approaches from energy supply and demand models, reviewed model documentation and discussed with model developers specific modelling logic and potential model developments to integrate impact chains. These documents and discussions gave insights into the circumstances under which impact chains can potentially be implemented endogenously in models or have to be quantified exogenously. From these, we derived four possible quantification cases.

## Results

### Developing a conceptual model for impact chains for energy sufficiency policy

The basis for developing a concept for an impact chain geared to energy sufficiency is the widely used impact chain described in, for example, IMWG (2014): Input – Activity – Output – Outcome – Impact. We have amended this as follows:

As our focus is on policy impact, it seems important to emphasize this in the impact chain. We have thus split the “input” into an input in the narrow sense as the project-specific means to reach the intended effect (e.g. staff and financial resources; this effect can be relevant at different stages of the impact chain) and a *stimulus* which triggers the activity and starts the impact chain as PIK (2014) proposes. The stimulus can be external or internal, e.g., a regulation, subsidies or investment in infrastructure (fiscal instruments), taxes or market reform (economic instruments according to UNFCCC (2000)) or an organization’s sus-



**Fig. 1:** Conceptual model of impact chains for energy sufficiency policies. Explicit qualitative aspects are visualized without a box so as to differentiate these from aspects where quantifications can potentially be added.

Source: authors' own compilation

tainability target. Within this conceptual approach, sufficiency is not the intrinsically motivated individual action, but rather the activity change that result from a stimulus. Sufficiency is thus a genuine field for policy design like efficiency and renewable energy policy (Schneidewind and Zahrt 2013).

Energy sufficiency policies often have an overarching nature (Sandberg 2021; Creutzig et al. 2022; O'Neill et al. 2018). It seems helpful for the comprehension and replicability of the policies, therefore, to add qualitative aspects to the different elements of the impact chain. As risk assessment is often associated with impact chains (Aall and Korsbrette 2020; PIK 2014), *risks* that accompany the policy are added. Other additions with regard to the framework conditions of the policy are *success factors* and *barriers* as these are often mentioned in sufficiency literature as important factors (e.g. Toulouse et al. 2017; Stengel 2011). Contrary to risks, barriers can lower the effectiveness of the policy but will not lead to its failure.

Furthermore, we have added a box for *actors/affected people* with the field of policy design in mind. "Actors" can show who should be involved when designing the policy and "affected people" can give hints on the need for a socially aware policy design (Cludius et al. 2022). If, for example, negative impacts on social groups occur, these would be included as a box in the (blue) impact category.

These elements added to the "classical" impact chain are not specific to energy sufficiency policies but seem especially important for comprehension, replicability and transparency of these policies so that they can better enter the political arena (Zell-Ziegler and Förster 2018). The method is able to include quantifications (elements in Fig. 1 with a box) so that impact chains can be coupled with or inserted into energy models and the impacts can be compared to efficiency and renewable energy policies. Arguments based on quantified effects seem to be crucial to take energy sufficiency into account in the design of political mitigation efforts.

Our concept is visualized with an explanation of the elements in Fig. 1.

### Test of the conceptual model in two case studies

To test our model, we applied it to two case studies in which energy sufficiency projects were recently implemented. The first case study is the ban of short-haul flights for the staff of the Eberswalde University for Sustainable Development imposed in 2019 by the executive committee of the university. For all destinations which can be reached by train within ten hours, air travel is banned (with exemptions), concerning especially flights to Brussels. Due to the COVID-19 pandemic, the effects of the ban are difficult to assess because virtual meetings effectively replaced all business trips and will be an attractive option in the future. The impact chain is visualized in Fig. 2.

Implementing this case study in the impact chain was relatively straight-forward. Two main threads could be found: the policy will either lead to a substitution of flights with rail trips or will replace the flights by virtual meetings. One difficulty was the formulation of the output, as the instrument type *regulation* means that no products or services are developed and the implementing body and the target group are almost identical. The main risk lies within the acceptability of the policy by staff, which could lead to arbitrary use of exemption requests.

The second case study is part of the promotion of sustainable mobility in the municipality of Lüchow-Dannenberg: the pedelec rental system. It was free-of-charge when it started in 2019; now, the three pedelecs and one e-cargo-bike can be rented for a small charge. The system was extremely well used from the start. A project-specific survey revealed that in more than 50% of the cases, trips by car could be replaced. The impact chain is visualized in Fig. 3.

Implementing this case study in the impact chain was also straight-forward. It can be seen that a lot of input from the project side was and is necessary and that a barrier for the policy



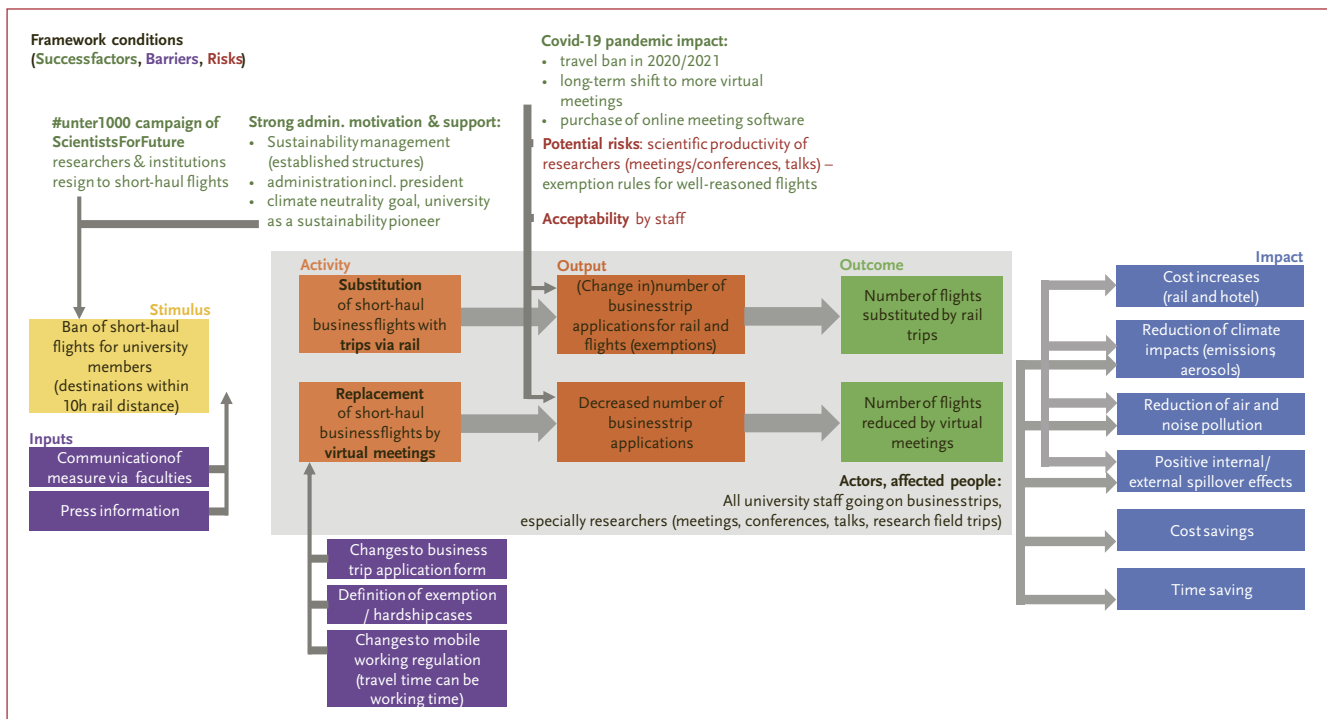


Fig. 2: Impact chain for the ban of short haul flights at the Eberswalde University for Sustainable Development.

Source: authors' own compilation

or an expansion of the rental service is that it is very work-intensive. By using the mobility data and the survey results, even quantitative results can be generated for the GHG emission reduction of the first project phase.

**Implementing impact chains in models**

For planned or potential energy sufficiency policies, ex-post evaluations are not available. To assess their potential impacts, the inclusion of impact chains in existing energy models can make a valuable contribution to broadening the scope of ex-ante impact assessments. However, most existing models are not currently able to represent energy sufficiency endogenously due to the modelling approach and logic.

Whether and to what extent such impact chains can be endogenously modelled within an existing model depends on the policy-specific impact chain, its impact mid- and endpoints and its match with the logic of the target model. Impact chains can

- a) be fully covered endogenously within a model, as the logic fits well. This would be beneficial as any modelled changes enter the entire modelling parameters.
- b) be partly covered. Those parts that cannot be covered by the model logic need to be quantified exogenously and fed to the model for parts of the impact chain quantifications. This is the case if a model has a different scope (e.g. technical features and key determinants of the building stock) than the impact chain (e.g. focusing on skilled labor shortage and training programs).

- c) not be covered by a model. They need full external quantification with outputs/outcomes being fed as inputs to the model. This is the case if a model does not cover any part of the impact chain, but outputs (e.g. in terms of energy consumption) can be fed as inputs into the model for final impact quantifications (e.g. GHG emissions).
- d) not fit at all with a model logic. In this case, the impact chain needs full external quantification.

Fig. 4 visualizes these different cases. Impact chains for energy sufficiency policies as developed above focus on the energy demand side with policies and other input factors that influence activities, ultimately leading to impact endpoints. The likelihood that a model covers the logic of a given sufficiency impact chain is thus higher for a respective sectoral demand model.

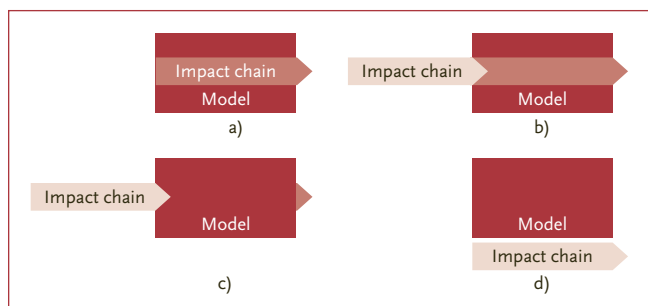


Fig. 4: Different options for implementing impact chains in energy models.

Source: authors' own compilation

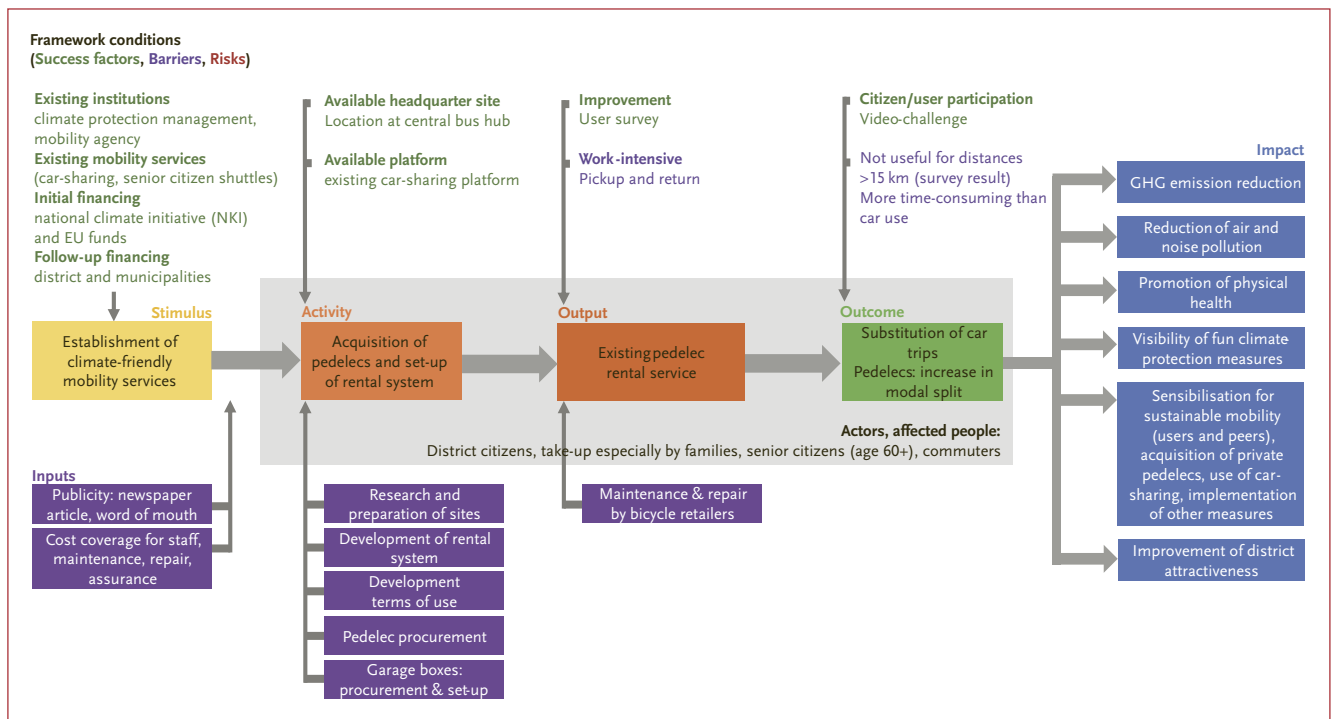


Fig. 3: Impact chain for the pedelec rental service in Lüchow-Dannenberg.

Source: authors' own compilation

Since energy sufficiency policy is not currently a well-researched field despite widespread recognition of its necessity, only limited experience has been gathered with modelling. Moving from a situation like d) or c) to b) or a) would be conducive to the ex-ante assessment of energy sufficiency policy. In the following, we briefly discuss some typical models and current ways of depicting energy sufficiency policy impact chains.

For the *supply side* (often called energy system) models, typical approaches are optimization (cost-minimization algorithms) and equilibrium models. The task of these models is to find least-cost or economic equilibrium energy systems, in most cases covering electricity and centralized heat generation facilities and deployment, within given boundary conditions such as GHG emission caps, carbon prices, capacity expansion limits etc. (for a non-exhaustive overview of 75 models see Ringkjøb et al. (2018)). By definition, these models cover the supply side and, in most cases, do not encompass the major part of energy sufficiency impact chains, but take energy consumption, for example, as the input (case c).

*Demand-side* models typically cover one sector in high detail. They apply various approaches such as stock simulation, (e.g., cost) optimization, discrete choice modelling or agent-based micro-simulation. There is a multitude of sector models with different methodologies, which we cannot discuss in detail here. Rather, we have drawn conclusions from a review of several important building sector and transport models.

We reviewed building sector models from ifeu (2022), Soukup et al. (2012), Cordroch et al. (2021), Prognos (2022),

FIW and ITG (2021) and Öko-Institut (2022), see appendix 1. These represent the building stock in a detailed technical resolution with building age, energetic standards and heating technologies and its development over time depending on key input parameters such as renovation, decommission and new build rates, heating technology deployment rates, or per-capita living spaces. For energy sufficiency policies that directly concern the building stock (e.g. limitation of living space), these models can already endogenously represent (parts of) the impact chains (case a/b). If, however, policies target changes in the decision-making of individuals (behavior or investments) by means of, for example, tax incentives or subsidies, it is not included in the model realm and needs separate quantification (case c) or substantial model development (case b).

For transport, the methodological landscape is more diverse, see appendix 2. Simulation models like TREMOD (ifeu 2020, or DEMO (Winkler and Mocanu 2020) can (like the building stock models) endogenously implement policy impact chains (case a) concerning the regulation of the rolling stock (e.g. emission/consumption standards, technological phase-outs or mandatory phase-ins). With approaches that model transport onto the existing/future transport network infrastructures (as DEMO, Quetzal\_Germany (Arnz 2022), or MATSIM (Horn et al. 2021)), policies that directly alter the transport network can be modelled (e.g. build-up of new rail connections, car-free zones, limitation of air connections). As these model choices also base on costs and time, monetary instruments that affect costs for specific trips (fuel taxes, road tolls) or such that affect travel time

(rail connection speed, speed limits) can be modelled. Agent-based models like MATSIM or partially TEMPS (Repenning et al. 2021) offer the best possibility for including impact chains related to individual transport decisions. Whether a specific policy can be endogenously modelled depends on the specific impact chain and its match with the specific modelling framework under consideration.

Where endogenous modelling is not possible, but the policy impact shall be modelled, exogenous quantifications (case b, c) or model development is necessary.

### Impact chain examples in models

We briefly sketch the possible inclusion of the two above-mentioned impact chains in a model. As explained above, this has to be done with respect to a specific model at hand. We use Quetzal\_Germany as an exemplary open-source transport model for Germany (a model outline is provided in Arnz 2022). The model currently includes a mode choice model for car and public transport modes that models given trips on certain connections (segmented by trip purposes) onto the existing German transport infrastructure. The first case of a short-haul flight ban can be included according to its two split impacts. On the one hand, short-haul flight connections can be simply removed from the transport network (if entirely banned). On the other hand, the number of business flight trip reductions (due to virtual meetings) needs to be exogenously quantified. A problematic restriction is the geographic scope: Quetzal\_Germany only represents domestic transport; international flights cannot be covered. It is not currently possible to represent the second case (substitution of car trips by pedelecs) in Quetzal\_Germany as local mobility is not explicitly modelled and bicycles/pedelecs are not represented as separate mode. If the exogenous impact chain quantification yields a reduction in the number of local trips, it can, however, be included in the underlying input data to reduce total trips. Further model development (i.e. coverage of international flights, explicit modelling of local transport, bicycle/pedelec as mode) would be required in order to explicitly model impact chains within the Quetzal\_Germany model.

## Discussion

The development and visualization of impact chains increase transparency and comprehension with regard to the ways in which energy sufficiency policies work and their effects, the conditions for unfolding their potential and the associated societal effects. The impact chains are useful for replicating projects and for sensitizing policy makers or administrations to the difficulties and uncertainties (barriers, risks) before designing new policies, or to improve planned or implemented policies. It thus raises the attractiveness for energy sufficiency to become a political option.

We are not aware of a comparable proposal for impact chains of energy sufficiency policies. Our results therefore present a

value added to the discussion of impacts, success factors and barriers to energy sufficiency policies. It was possible to apply the concept in two case studies, which shows the effects and impacts of two different policy instruments within the mobility sector. The sample size, however, is too small to draw conclusions on general patterns of different policy instruments at this time. The method used to test our concept only incorporates one perspective from the planning and implementation side per policy. This approach seems to be appropriate for the purpose of initial testing.

Concerning the modelling of energy sufficiency policies, a first result is that existing sectoral demand-side models can already depict some policy impact chains, but depending on the specific chains and models, the development of exogenous chain quantifications and/or further model developments are needed. For their inclusion in energy supply/system models beyond exogenous assumptions, supply models need to be coupled to adequate demand-side models that can explicitly represent policy impacts and feed them as inputs into the system models.

## Conclusion and outlook

We plan to apply our concept to a range of energy sufficiency policies. We will start with those included in the recently developed “Energy Sufficiency Policy Database” (Best et al. 2022). We are particularly interested in the comparison of the impact chains for different policy instruments (stimuli) that target the same outcome. Additionally, we plan to discuss as many of the impact chains with stakeholders as possible in order to integrate a broad range of perspectives, especially for the framework conditions and multiple impacts. For the validation of impact chains, the development of outcome/impact indicators is also very useful (Wolff et al. 2019).

The assessment of more general energy sufficiency policies on a level higher than the local one will add impacts such as those on GDP and employment to the impact chain. Due to the development with the two climate action managers, there are few uncertainties, and we are confident that we have included the most relevant success factors, barriers, and risks. For the development of more abstract and higher-level impact chains and for those that have not (yet) been discussed with stakeholders, it seems necessary to include uncertainties, e.g., with dashed arrows. Further conceptual and visual development is needed to outline which success factors, barriers or risks of an impact chain are the most important and have the greatest potential to lead to success or failure of the policy.

Once impact chains for the policies in the database of Best et al. (2022) are developed, we plan to test their integration in existing models and add quantifications. The goal is to model them entirely endogenously. Where this proves impossible due to model limitations, we plan to develop exogenous pre-calculations for feeding impact mid-points to models.

**Acknowledgement** • We thank Franziska Dittmer, Henning Golüke and Kerstin Kräusche for their time and insights into their sufficiency projects, which served as case studies for the development of the first two impact chains with our concept. We also thank Vanessa Cook for proof-reading.

**Funding** • Research for this article has been conducted within the junior research group “Energy Sufficiency,” which is funded by the German Federal Ministry of Education and Research as part of its social-ecological research funding measure, grant numbers 01UU2004B and 01UU2004C.

**Competing interests** • The authors declare no competing interests.

## Appendix 1 (Building sector models)

Cordroch, Luisa; Hilpert, Simon; Wiese, Frauke (2021). Why renewables and energy efficiency are not enough. The relevance of sufficiency in the heating sector for limiting global warming to 1.5 °C. In: *Technological Forecasting and Social Change*, p. 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121313>

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (2022): Gebäudemodell (GEMOD). Available online at <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/gebäudemodell/>, last accessed on 09. 05. 2022.

FIW and ITG – Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München; Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden (2021): Klimaneutralität 2045 – Transformation des Gebäudesektors. Gebäudespezifische Modellierung und Begleitung des Studienprozesses. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Available online at [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Landingpages/Leiststudie\\_II/Gutachten/211005\\_DLS\\_Gutachten\\_ITG\\_FIW\\_final.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Landingpages/Leiststudie_II/Gutachten/211005_DLS_Gutachten_ITG_FIW_final.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.

Öko-Institut (2022): Energie und Klimaschutz. Available online at <https://www.oeko.de/forschung-beratung/themen/energie-und-klimaschutz>, last accessed on 09. 05. 2022.

Prognos (2022): Gebäudemodell. Available online at <https://www.prognos.com/de/leistungen/modelle-methoden>, last accessed on 04. 05. 2022.

Soukup, Ole; Hanke, Thomas; Viebahn, Peter (2012): Wärmedämmungs-Strategien im Haushaltssektor und ihr Beitrag zu Materialeffizienz und Emissionsminderung. Eine Langfristanalyse bis zum Jahr 2050. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 36 (1), pp. 37–50. <https://doi.org/10.1007/s12398-011-0072-y>

## Appendix 2 (Transport sector models)

Allekotte, Michel; Biemann, Kirsten; Heidt, Christoph; Colson, Marie; Knörr, Wolfgang (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990–2018). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29\\_texte\\_116-2020\\_tremod\\_2019\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_116-2020_tremod_2019_0.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.

Arnz, Marlin (2022): QUETZAL\_Germany. Jupyter Notebook. Available online at [https://github.com/marlinarnz/quetzal\\_germany](https://github.com/marlinarnz/quetzal_germany), last accessed on 04. 05. 2022.

Horni, Andreas; Nagel, Kai; Axhausen, Kay (eds.) (2021): The Multi-Agent Transport Simulation. MATSim. Available online at <http://ci.matsim.org:8080/job/MATSim-Book/ws/partOne-latest.pdf>, last accessed on 09. 05. 2022.

Repenning, Julia et al. (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Berlin: Öko-Institut. Available online at [https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/projektionsbericht\\_2021\\_bf.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/projektionsbericht_2021_bf.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.

Winkler, Christian; Mocanu, Tudor (2020): Impact of political measures on passenger and freight transport demand in Germany. In: *Transportation Research*

Part D: Transport and Environment 87, p. 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102476>

## References

- Aall, Carlo et al. (2020): Methods for climate change risk assessments. An international knowledge review. Project UNCHAIN: Work Package 1, Deliverable D1.1. Available online at <https://www.vestforsk.no/sites/default/files/2021-01/D1.1-knowledge%20review%20final%20%281%29.pdf>, last accessed on 09. 05. 2022.
- Akenji, Lewis; Lettenmeier, Michael; Koide, Ryu; Toivio, Viivi; Amellina, Aryanie (2019): 1.5-degree lifestyles. Targets and options for reducing lifestyle carbon footprints. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies. Available online at [https://www.iges.or.jp/en/publication\\_documents/pub/technicalreport/en/6719/15\\_Degree\\_Lifestyles\\_MainReport.pdf](https://www.iges.or.jp/en/publication_documents/pub/technicalreport/en/6719/15_Degree_Lifestyles_MainReport.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.
- Best, Benjamin et al. (2022): Building a database for energy sufficiency policies. [version 1; peer review: 2 approved]. In: *F1000Research* 11, p. 229. <https://doi.org/10.12688/f1000research.108822.1>
- Cludius, Johanna; Schumacher, Katja; Kreye, Konstantin (2022): Energiepreiskrise. Wie sozialverträglich ist das Entlastungspaket der Bundesregierung? In: *Blog – Beiträge und Standpunkte aus dem Ökosinstitut*. Available online at <https://blog.oeko.de/energiepreiskrise-wie-sozialvertraeglich-ist-das-entlastungspaket-der-bundesregierung/>, last accessed on 09. 05. 2022.
- Creutzig, Felix et al. (2021): Reviewing the scope and thematic focus of 100 000 publications on energy consumption, services and social aspects of climate change. A big data approach to demand-side mitigation. In: *Environmental Research Letters* 16 (3), p. 033 001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd78b>
- Creutzig, Felix et al. (2022): Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of wellbeing. In: *Nature Climate Change* 12, pp. 36–46. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01219-y>
- Darby, Sarah; Fawcett, Tina (2018): Energy sufficiency. An introduction. Concept Paper. Oxford, UK: Environmental Change Institute, University of Oxford. Available online at <https://www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-introduction-final-oct2018.pdf>, last accessed on 09. 05. 2022.
- DeGEval – Gesellschaft für Evaluation (2016): Standards für Evaluation. Erste Revision. Mainz: Gesellschaft für Evaluation e. V. Available online at [https://www.degeval.org/fileadmin/Publikationen/DeGEval-Standards\\_fuer\\_Evaluation.pdf](https://www.degeval.org/fileadmin/Publikationen/DeGEval-Standards_fuer_Evaluation.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.
- Faber, Jasper et al. (2012): Behavioural climate change mitigation options and their appropriate inclusion in quantitative longer term policy scenarios. Main Report. Delft: European Commission, DG Climate Action. Available online at [https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/main\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/main_report_en.pdf), last accessed on 09. 05. 2022.
- Fischer, Corinna et al. (2016): Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs. Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzepts. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_17\\_2016\\_konzept\\_zur\\_absoluten\\_verminderung\\_des\\_energiebedarfs.pdf?msclid=e4aae565cf8111ecb1288850c9c0980c](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_17_2016_konzept_zur_absoluten_verminderung_des_energiebedarfs.pdf?msclid=e4aae565cf8111ecb1288850c9c0980c), last accessed on 09. 05. 2022.
- Fischer, Corinna et al. (2020): Möglichkeiten der Instrumentierung von Energieverbrauchsreduktion durch Verhaltensänderung. Dessau-Roßlau: Umwelt-

- bundesamt. Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-05-06\\_texte\\_56-2020\\_energieverbrauchsreduktion.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-05-06_texte_56-2020_energieverbrauchsreduktion.pdf), last accessed on 09.05.2022.
- Fuchs, Doris et al. (2021): Consumption corridors. Living a good life within sustainable limits. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367748746>
- Gross, Neil (2018): The structure of causal chains. In: *Sociological Theory* 36 (4), pp. 343–367. <https://doi.org/10.1177/0735275118811377>
- IMWG – Impact Measurement Working Group (2014): Measuring impact. Subject paper of the impact measurement working group. s.l.: Social Impact Investment Taskforce. Available online at <https://gsgii.org/wp-content/uploads/2017/07/Measuring-Impact-WG-paper-FINAL.pdf>, last accessed on 09.05.2022.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022): Climate change 2022 – mitigation of climate change. Summary for policymakers. s.l.: s.n. Available online at [https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf), last accessed on 09.05.2022.
- O'Neill, Daniel; Fanning, Andrew; Lamb, William; Steinberger, Julia (2018): A good life for all within planetary boundaries. In: *Nature Sustainability* 1 (2), pp. 88–95. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2009): Evaluation policy and guidelines for evaluations. The Hague: Ministry of Foreign Affairs. Available online at <https://www.oecd.org/dac/evaluation/job-evaluation-policy-and-guidelines-for-evaluations.pdf>, last accessed on 10.05.2022.
- PIK – Potsdam Institute for Climate Impact Research (2014): The Climate Impacts. Global and regional adaptation support platform. ci:grasp 2.0 – impact chains. Available online at <http://www.pik-potsdam.de/cigrasp-2/ic/ic.html>, last accessed on 04.05.2022.
- Ringkjøb, Hans-Kristian; Haugan, Peter; Solbrette, Ida (2018): A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96, pp. 440–459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.002>
- Samadi, Sascha et al. (2017): Sufficiency in energy scenario studies. Taking the potential benefits of lifestyle changes into account. In: *Technological Forecasting and Social Change* 124, pp. 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.013>
- Sandberg, Maria (2021): Sufficiency transitions. A review of consumption changes for environmental sustainability. In: *Journal of Cleaner Production* 29, p. 126 097. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126097>
- Schlomann, Barbara et al. (2020): Methodikleitfaden für Evaluationen von Energieeffizienzmaßnahmen des BMWi. Karlsruhe: s.n. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/methodikleitfaden-fuer-evaluationen-von-energieeffizienzmassnahmen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/methodikleitfaden-fuer-evaluationen-von-energieeffizienzmassnahmen.pdf?__blob=publicationFile), last accessed on 09.05.2022.
- Schneidewind, Uwe; Zahrnt, Angelika (2013): Damit gutes Leben einfacher wird. Perspektiven einer Suffizienzpolitik. München: oekom. <https://doi.org/10.14512/9783865816481>
- Stengel, Oliver (2011): Weniger ist schwer. Barrieren in der Umsetzung suffizienter Lebensstile – und wie wir sie überwinden können. In: *GAIA* 20 (1), pp. 26–30. <https://doi.org/10.14512/gaia.201.7>
- Toulouse, Edouard; Le Dù, Mathieu; Gorge, Hélène; Semal, Luc (2017): Stimulating energy sufficiency. Barriers and opportunities. In: *Proceedings of the European Council for an Energy Efficient Economy summer study*, pp. 59–70. Available online at [https://www.researchgate.net/publication/328025367\\_Stimulating\\_energy\\_sufficiency\\_barriers\\_and\\_opportunities](https://www.researchgate.net/publication/328025367_Stimulating_energy_sufficiency_barriers_and_opportunities), last accessed on 09.05.2022.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2000): Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention. UNFCCC guidelines on reporting and review. Available online at <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop5/07.pdf>, last accessed on 10.05.2022.
- Vita, Gibran et al. (2019): The environmental impact of green consumption and sufficiency lifestyles scenarios in Europe. Connecting Local sustainability visions to global consequences. In: *Ecological Economics* 164, p. 106 322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.002>
- Wiese, Frauke; Thema, Johannes; Cordroch, Luisa (2022): Strategies for climate neutrality. Lessons from a meta-analysis of German energy scenarios. In: *Renewable and Sustainable Energy Transition* 2, p. 100 015. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100015>
- Winkler, Christian; Mocanu, Tudor (2020): Impact of political measures on passenger and freight transport demand in Germany. In: *Transportation Research Part D. Transport and Environment* 87, p. 102 476. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102476>
- Wolff, Franziska; Kampffmeyer, Nele; Schumacher, Katja (2019): Handreichung für Evaluationen in der Umweltpolitik. Freiburg: Öko-Institut. Available online at [www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Evaluation-Umweltpolitik.pdf](http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Evaluation-Umweltpolitik.pdf), last accessed on 09.05.2022.
- Zell-Ziegler, Carina; Förster, Hannah (2018): Mit Suffizienz mehr Klimaschutz modellieren. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba\\_texte\\_55\\_2018\\_zwischenbericht\\_mit\\_suffizienz\\_mehr\\_klimaschutz\\_modellieren.pdf?msckid=d7432416cf9711ec9de52e46a89ff41](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_texte_55_2018_zwischenbericht_mit_suffizienz_mehr_klimaschutz_modellieren.pdf?msckid=d7432416cf9711ec9de52e46a89ff41), last accessed on 09.05.2022.
- Zell-Ziegler, Carina et al. (2021): Enough? The role of sufficiency in European energy and climate plans. In: *Energy Policy* 157, p. 112 483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112483>



#### CARINA ZELL-ZIEGLER

has worked at Oeko-Institut since 2014, where her areas of research are emission projections and evaluation. Her research within the energy sufficiency research group focuses on impact chains and impact assessments of energy sufficiency policies. She is a doctoral candidate at the Technical University of Berlin and holds a Master degree in Global Change Management.



#### JOHANNES THEMA

joined the Energy Policy Research Unit at Wuppertal Institut in 2010. He has been working as a Project Coordinator with a focus on policies for energy efficiency, sufficiency and energy poverty. Currently, he is a doctoral candidate in the energy sufficiency research group; his research focuses on the inclusion of sufficiency policies in demand-side models.



RESEARCH ARTICLE

# Co-Benefits als Katalysatoren für Suffizienzpolitik: Wie Bürger\*innen in Beteiligungs- verfahren Suffizienz begründen

48

Jonas Lage<sup>\*,1</sup> , Marie Graef<sup>2</sup>

**Zusammenfassung** • Der Artikel untersucht, welche suffizienzorientierten Maßnahmen sich Bürger\*innen im Rahmen partizipativer Prozesse auf kommunaler Ebene wünschen und wie sie diese begründen. Neben der ökologischen Wirkung werden zahlreiche Co-Benefits in den Bereichen Gesundheit, Gemeinschaft und Teilhabe sowie Wirtschaftlichkeit identifiziert. Aufgrund dieser Begründungszusammenhänge wurden auch Maßnahmen als Zugewinn für die Lebensqualität interpretiert, die von Gegner\*innen häufig als ‚Verzicht‘ abgewertet werden. Der Beitrag argumentiert, dass eine Orientierung an den identifizierten Co-Benefits die Legitimation von Suffizienzmaßnahmen steigern kann. Grundlage der qualitativen Dokumentenanalyse sind Dokumentationen aus 15 Beteiligungsprozessen des bundesweiten Wettbewerbs ‚Zukunftsstadt 2030‘, in dem Kommunen Konzepte für ihre nachhaltige Entwicklung erarbeitet haben.

**Co-benefits as catalysts for sufficiency policy:**  
*How citizens justify sufficiency in participation processes*

**Abstract** • *This article examines what sufficiency-oriented measures citizens would like to see in participation processes at the municipal level and how they justify them. In addition to the ecological impact, numerous co-benefits are identified in the fields of public health, community and participation as well as economic viability. Based on these jus-*

*tification contexts, measures that are often dismissed by opponents as ‘sacrifice’ were also interpreted as gains in quality of life. The article argues that an orientation toward the identified co-benefits may increase the legitimacy of sufficiency measures. The qualitative document analysis is based on documentation from 15 community participation processes of the nationwide competition ‘Zukunftsstadt 2030’ (City of the future 2030), in which municipalities developed concepts for their sustainable development.*

**Keywords** • *sufficiency, co-benefits, legitimacy, urban development, citizen participation*

*This article is part of the Special Topic “Energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius. <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>*

## Einleitung

Anfang 2020 kündigte der grüne Bezirksamtsleiter des Stadtteils Hamburg-Nord an, ein Vorhaben aus dem Koalitionsvertrag umzusetzen und keinen Neubau von Einfamilienhäusern mehr zuzulassen: Eine Maßnahme ökologischer Nachhaltigkeit, gelten Einfamilienhäuser im Vergleich zu anderen Wohnformen doch als flächen- und ressourcenintensiver. Genauer lässt sich diese Maßnahme als Suffizienzstrategie beschreiben, da sie durch eine Veränderung der sozialen Praktik des Wohnens eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs anstrebt. Bemerkenswert ist, dass diese Aussage aus Hamburg-Nord ausreichte, um eine bundespolitische Debatte auszulösen und die Grünen als ‚Verbotspartei‘ unter Druck zu setzen. Dies ist kein Einzelfall, da Suffizienzpolitik häufig von Kritiker\*innen mit ‚Verzicht‘ assoziiert,

\* Corresponding author: [jonas.lage@uni-flensburg.de](mailto:jonas.lage@uni-flensburg.de)

<sup>1</sup> Norbert Elias Center for Transformation Design & Research (NEC), Europa-Universität Flensburg, Flensburg, DE

<sup>2</sup> Institut für Sozialwissenschaften, Universität Stuttgart, Stuttgart, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).  
<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>  
Received: Jan. 18, 2021; revised version accepted: May 03, 2022;  
published online: Jul. 18, 2022 (peer review)

als nicht wünschenswert, rückschrittlich und illegitime Freiheitsbeschränkung deklariert wird (Schneidewind et al. 2013).

Gleichzeitig mehrten sich die Hinweise auf positive Auswirkungen von Maßnahmen, die auf eine Reduktion des Konsumniveaus abzielen, insbesondere auf Gesundheit und Lebensqualität (Bohnenberger 2021; Creutzig et al. 2021). Solche ‚Nebenwirkungen‘ können bei allen ökologisch motivierten Nachhaltigkeitsstrategien eintreten und werden auch als Co-Benefits bezeichnet (Karlsson et al. 2020). Sie werden bei der Konzeptionierung und politischen Begründung von Suffizienz-

### *Suffizienzpolitik wird von Kritiker\*innen oft mit Verzicht assoziiert und als Freiheitsbeschränkung deklariert.*

maßnahmen aber teilweise nicht beachtet oder sogar explizit ausgeschlossen, da der Fokus vorwiegend auf ökologischen Wirkungen liegt (Fischer und Griebhammer 2013; Spengler 2018).

Da auf der kommunalen Ebene viele Rahmenbedingungen des alltäglichen Handelns gesetzt werden, sind für die Umsetzung von Suffizienzmaßnahmen lokalstaatliche Akteur\*innen zentral (Böcker et al. 2021). In dem Spannungsfeld zwischen zugeschriebenem Verzicht und Co-Benefits gehen wir der Frage nach, mit welchen Begründungen sich Einwohner\*innen welche Suffizienzmaßnahmen wünschen. Die empirische Basis stellen Beteiligungsdokumentationen aus der ersten Phase des bundesweiten Wettbewerbs ‚Zukunftsstadt 2030‘ dar.

Unser Ziel ist es, aus der Untersuchung solcher Prozesse Erkenntnisse für die Legitimität und damit für die Konzeptionierung und das Framing von Suffizienzmaßnahmen zu generieren. Das Konzept des Framing beschreibt eine bewusste Gestaltung von Narrativen, die gewisse Aspekte der wahrgenommenen Realität gezielt hervorheben und somit ein gewisses Deutungsmuster nahelegen (Entman 1993). Legitimität beschreibt allgemein das Vertrauen auf die Rechtmäßigkeit politischer Herrschaft und die daraus resultierende Anerkennung des Herrschaftsverhältnisses durch die Beherrschten (Schubert und Klein 2018). Dem Politikwissenschaftler Scharpf (1999) folgend, lassen sich input- und outputorientierte Legitimität unterscheiden. Inputorientierte Legitimität beschreibt die Herrschaft durch das Volk, welche also beispielsweise durch demokratische Prozesse hergestellt werden kann. Outputorientierte Legitimität beschreibt die Herrschaft für das Volk, also die Anerkennung von politischen Entscheidungen, wenn diese auf wirksame Weise das Allgemeinwohl fördern. Die Untersuchung erörtert dementsprechend jenseits der ökologischen Argumente die Erwartungen, welche von einem Ausschnitt der Bevölkerung an Suffizienzmaßnahmen gestellt werden und stellt Hypothesen zur outputorientierten Legitimität auf.

## Suffizienzverständnis

Grundlegend werden in der Literatur drei verschiedene Strategien zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen unterschieden: die Effizienz, die Konsistenz und die Suffizienz (Huber 2000). Effizienzstrategien versuchen durch technische Optimierungen die Ressourcenproduktivität zu erhöhen. Konsistenzstrategien ersetzen umweltschädliche durch umweltfreundlichere Technologien. Beide Strategien sind dementsprechend geprägt von (sozio-)technischen Innovationen und werden vielfach mit dem Ziel eingesetzt, den Natur- und Ressourcenverbrauch vom Konsumniveau zu entkoppeln.

Die Strategie der Suffizienz verfolgt ebenfalls das Ziel, ökologische Schäden zu minimieren und lässt sich analytisch in zwei Dimensionen trennen. Zum einen rückt sie die Begrenzung des Konsumniveaus auf ein verallgemeinerbares, also nachhaltiges Maß in den Blick und beschreibt Ober- und Untergrenzen von Konsumkorridoren (Di Giulio und Fuchs 2014). Dem liegt die Annahme zugrunde, dass eine Entkopplung des Naturverbrauchs von Konsumsteigerungen nicht in ausreichendem Maße möglich ist, um ökologische Ziele zu erreichen. Zum anderen arbeitet die Strategie der Suffizienz nicht mit technischen, sondern mit sozialen Innovationen und versucht damit soziale Praktiken zu verändern. Dies kann sich sowohl auf individuelles Verhalten als auch auf die Gestaltung von politischen, ökonomischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen beziehen (Princen 2005; Schneidewind et al. 2013).

Die Suffizienzstrategie im Verständnis dieser Untersuchung verfolgt vorrangig ökologische Ziele, jedoch mit potentiell weitreichenden sozialen und ökonomischen Implikationen. Im Folgenden wurden Maßnahmen oder Wünschen als suffizienzorientiert verstanden, wenn sie auf eine Reduktion ökologischer Schäden vornehmlich durch Veränderungen sozialer Praktiken abzielt. Suffizienz beschreibt in diesem Sinne sowohl einen kompletten Wegfall des Konsums, beispielsweise die reduzierte Wegstrecke durch Homeoffice oder eine Stadt der kurzen Wege, als auch eine Reduktion des Naturverbrauchs durch veränderte Konsummuster wie Fahrradfahren statt Autofahren. Nicht immer ist die Wirkungskette unmittelbar, sodass auch eine Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Raums, insbesondere im innerstädtischen Bereich, welche dichteres und kleineres Wohnen erleichtern kann, als suffizienzorientierter Wunsch interpretiert wird (für die literaturbasierten Einordnungen als Suffizienzmaßnahmen siehe Tab. 1).

## Methodik

Die empirische Grundlage bilden Dokumentationen von informellen Beteiligungsformaten, die in der ersten von insgesamt drei Förderphasen der Leitinitiative ‚Zukunftsstadt 2030‘ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchgeführt wurden. In der ersten Phase wurden in den Jahren 2015/16 in 51 Kommunen unterschiedlicher Größe Visionen nachhaltiger

Kategorien gewünschter Maßnahmen in den Beteiligungsprozessen	Übergeordneter Suffizienzbezug
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung Fahrrad-, Fuß- und ÖPNV (B-M, DD, FI, KN, LG, NO, OB, UL, WM8, WOB)</li> <li>• Eindämmung Autoverkehr (DD, FRI, KN, UL, WM8, WOB)</li> </ul>	Modal shift führt zur Reduktion von Autoverkehr durch Verlagerung auf den Umweltverbund (Schneidewind et al. 2013; Böcker et al 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortsnahe Daseinsversorgung (Lebensmittel, Bildung, Gesundheit und Pflege, Kultur- und Freizeitangebot) (B-M, FI, FRI, NO, P/L, OB, RE, UL, WM8, WOB, Z-R)</li> <li>• Regionale Wertschöpfungskreisläufe (B-M, DD, FI, FRI, LG, NO, OB, WM8, WOB, Z-R)</li> </ul>	Kurze Wege ermöglichen modal shift und verringern Weglängen (Böcker et al. 2021; Cohen 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generationsübergreifende, gemeinschaftliche Wohnprojekte (B-M, FI, KN, LG, NO, P/L, UL, WM8, WOB, Z-R)</li> <li>• Wohnungstausch (B-M, KN, WOB)</li> </ul>	Flexibleres, lebensphasenbezogenes und potentiell flächensparendes Wohnen (Schneidewind et al. 2013; Abt und Pätzold 2017; Bohnenberger 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bekämpfung von Leerstand (B-M, FI, FRI)</li> <li>• Flächenmanagement (DD, KN, NO, WM8, WOB)</li> <li>• Siehe auch ‚kurze Wege‘</li> </ul>	Städtebauliche Dichte (Böcker et al. 2021, Bohnenberger 2021, Cohen 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausweitung (wohnortnaher) Grün- und Blaflächen, Aufenthalts- und Spielplätze (B-M, DD, FI, FRI, KN, NO, OB, WOB, Z-R)</li> <li>• Urban Gardening (B-M, DD, FI, NO, WOB)</li> </ul>	Aufwertung des öffentlichen Raums als Alternative zum Privatbesitz (Bohnenberger 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung von Tausch und Reparatur (DD, FRI, LG, NO, P/L, WOB)</li> <li>• Nicht-kommerzielle Aufenthaltsorte und Treffpunkt (B-M, DD, FI, FRI, KN, LG, NO, OB, P/L, WM8, WOB, Z-R)</li> <li>• Genoss*innenschaften (NO, Z-R)</li> </ul>	Konsumreduktion und Entkommerzialisierung (Sachs 1993; Schneidewind et al. 2013)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saisonale und regionale Ernährung (B-M, FRI, NO, WM8)</li> </ul>	Verringerte Transportwege und geringerer Energieaufwand für Produktion und Lagerung (Brunori und Di Iacovo 2014)

**Tab. 1:** Ergebnisse des deduktiven Codierens: in den Dokumentationen der Beteiligungsveranstaltungen identifizierte Suffizienzmaßnahmen.

Quelle: Eigene Darstellung

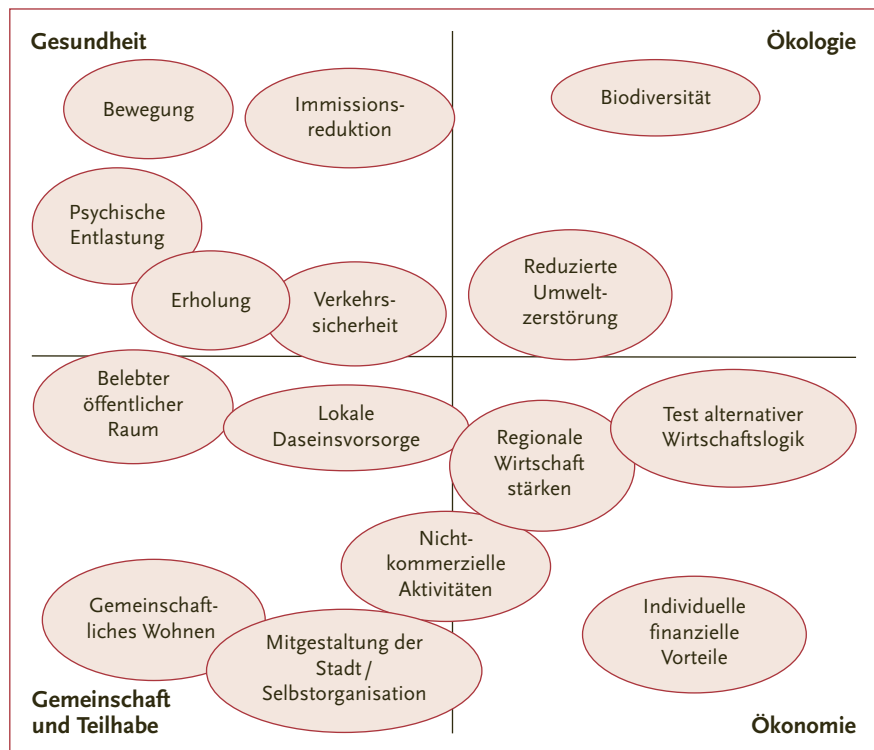
Entwicklung für das Jahr 2030 und darüber hinaus erarbeiteten. In späteren Phasen standen konkretere Planungen und Umsetzungen im Fokus. Da die Dokumentation insbesondere bei den Kommunen, die nicht für die nächsten Phasen ausgewählt wurden, nicht oder nur sehr rudimentär vorhanden ist, haben wir die Auswahl auf die 23 Kommunen beschränkt, die die zweite Förderphase erreicht haben. Davon konnten 15 Dokumentationen für folgende Kommunen bzw. Regionen zugänglich gemacht werden (siehe Research data), wobei Darstellungsart und Ausführlichkeit variieren (zwischen zwölf und 124 Seiten) und nicht alle (vollständig) öffentlich verfügbar sind: Berlin Mierendorff INSEL (B-M), Dresden (DD), Finsterwalde (FI), Friedrichstadt (FRI), Konstanz (KN), Lüneburg (LG), Norderstedt (NO), Oberhausen (OB), Peenetal/Loitz (P/L), Recklinghausen (RE), Rottal-Inn (R-I), Ulm (UL), Wattenmeer-Achter (Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog, Wangerooge, Norden) (WM8), Wolfsburg (WOB), ZUBRA-Region (Bebra, Rotenburg a. d. Fulda, Alheim, Cornberg, Ronshausen, Wildeck) (Z-R). Die meisten Berichte bestehen aus einer schriftlichen Zusammenfassung und fotografischen Dokumentation der Beteiligungsveranstaltung, häufig ergänzt durch professionelle Visualisierungen der Diskussion sowie eine Presse-schau.

Der Zukunftsstadtprozess ist als partizipative Stadtentwicklungsarbeit in seinem Umfang an teilnehmenden Kommunen sowie seinem inhaltlich breiten und visionsorientierten Zuschnitt in Deutschland einmalig. Als Datengrundlage bietet er Heterogenität bezüglich Größe und geographischer Lage der Kommunen sowie Vergleichbarkeit durch die gleichen übergeordneten Zielsetzungen und formellen Rahmenbedingungen.

In den untersuchten Städten und Gemeinden wurden zwischen zwei und acht verschiedene Beteiligungsformate für die Entwicklung der Vision durchgeführt. Die Prozesse fußen damit zwar auf einer teils sehr breiten öffentlichen Beteiligung, sind jedoch wie die meisten Beteiligungsformate aufgrund ihrer Selbstselektivität nicht repräsentativ für den Bevölkerungsdurchschnitt. Dementsprechend können keine Aussagen dazu getroffen werden, in welchem Maße Suffizienz von Bürger\*innen gewünscht wird. Eine fundierte explorative Untersuchung der Argumente für Suffizienz ist hingegen möglich.

Die Dokumentationen wurden mithilfe einer Dokumentenanalyse untersucht. Durch das Codieren, also dem Aufbrechen des Materials zu Zwecken der Analyse, mithilfe der Auswertungssoftware MAXQDA konnten im Material die verschiedenen suffizienzorientierten Maßnahmen samt Begründungsstränge sichtbar gemacht und mit jedem weiteren Dokument prä-

zisiert und angereichert werden. Codiert wurde in zwei Schritten, zunächst deduktiv (Kategorienbildung aus der Theorie), dann induktiv (Kategorienbildung aus der Empirie). Im ersten Schritt wurden mithilfe des oben beschriebenen literaturbasierten Suffizienzverständnisses die suffizienzorientierten Wünsche codiert. Mit einer Ausnahme (R-I) konnten in allen Dokumentationen zahlreiche suffizienzorientierte Maßnahmen identifiziert werden (siehe Tab. 1). Im zweiten Schritt wurden die Begründungszusammenhänge der Suffizienzmaßnahmen induktiv codiert und dabei Bezüge zu anderen Codes und erste Theoretisierungen in Form von Memos gesichert. Anschließend wurden die Codes zu vier zentralen Kategorien (Gesundheit, Gemeinschaft, Ökologie und Ökonomie) verdichtet (siehe Abb. 1). Um die personenunabhängige Übereinstimmung der Codierungen (Intercoder-Reliabilität) zu verbessern, wurden zunächst einige Dokumente gemeinsam und anschließend die restlichen Dokumente nacheinander codiert und wechselseitig überprüft.



**Abb. 1:** Ergebnisse des induktiven Codierens: zentrale Kategorien (Gesundheit, Ökologie, Gemeinschaft und Teilhabe, Ökonomie) und Unterategorien der Begründungszusammenhänge von Suffizienzmaßnahmen.

Quelle: Eigene Darstellung

## Ergebnisse

In den untersuchten Beteiligungsprozessen ist die Nachhaltigkeitsstrategie der Suffizienz als solche kein explizites Thema. Nur ein einziges Mal taucht das Wort Suffizienz in den Dokumenten auf (DD). Nichtsdestotrotz lassen sich zahlreiche Visionen und Maßnahmen identifizieren, die sich inhaltlich der Suffizienzstrategie zuordnen lassen. Eine Übersicht über die im Material formulierten Maßnahmen sowie deren literaturbasierte Einordnung als Suffizienzmaßnahme ist in Tabelle 1 dargestellt.

Als Begründungen für die Maßnahmen haben wir als zentrale Kategorien neben Ökologie die Dimensionen Gesundheit, Gemeinschaft und Teilhabe sowie Wirtschaftlichkeit identifiziert (Abb. 1). Diese vier identifizierten Hauptkategorien führen wir im Folgenden aus.

(1) Suffizienzmaßnahmen werden mit verschiedenen positiven Gesundheitseffekten begründet. Ein „modal shift“ von motorisiertem Individualverkehr zum Umweltverbund (Fahrrad-, Fuß- und ÖPNV) wird gewünscht, weil eine Reduktion des Autoverkehrs mit geringeren Schadstoff- und Lärmemissionen einhergeht und sich dadurch psychische und physische Gesundheitsbelastungen verringern (DD, NO, WM8). Des Weiteren erhöht eine Reduktion des Autoverkehrs die allgemeine Verkehrssicherheit, da Unfälle vermieden werden und durch die Umnutzung von ehemals für den Autoverkehr genutzten Flächen

sichere Rad- und Fußwege entstehen können (DD, NO, WOB). Als weiteres Argument für eine fahrrad- und fußverkehrsfreundliche Infrastruktur wird Bewegungsförderung im Alltag genannt, die beim Stressabbau helfen und der psychischen und physischen Gesundheit dienen kann (NO, OB, WOB).

Gesundheitsaspekte stellen nicht nur im Bereich der Mobilität einen Begründungszusammenhang für städtebauliche Suffizienzmaßnahmen dar. So wurden Freiraumplanungen mit bewegungsfördernden Grün- und Spielplätzen (B-M, FRI, NO, WOB) sowie Orte der Naherholung in Wohnortnähe (B-M, DD, FI, FRI, KN, NO, WOB) gewünscht.

Zudem besteht die Hoffnung, dass ein verändertes städtisches Leitbild mit suffizienzorientierten Zielformulierungen einen gesellschaftlichen Wertewandel unterstützt, der zu psychischen Entlastungen führen kann. Dazu zählen unter anderem Aspekte der Konsumreduktion (DD, NO, WM8), aber auch des Zeitwohlstands (LG, WM8), also der Möglichkeit zur selbstbestimmten Gestaltung der eigenen Lebenszeit.

(2) Neben Gesundheitsaspekten spielt der Wunsch nach Gemeinschaft und Teilhabe eine Rolle bei der Begründung von Suffizienzmaßnahmen. Dabei wird das Idealbild einer Kommune mit nachbarschaftlicher Gemeinschaft und belebten öffentlichen Räumen gezeichnet.

Im Sinne einer „Stadt der kurzen Wege“, werden als Maßnahmen die Erhöhung der städtebaulichen Dichte und das Schaffen



gemischter Quartiere genannt. Die dadurch wachsende räumliche Nähe soll sowohl die grundsätzlichen Teilhabemöglichkeiten am gesellschaftlichen Leben erhöhen (KN, FI, NO, WOB, Z-R) als auch den Bezug zur Nachbarschaft stärken (DD, FRI, KN, UL, WM8). Es wird die Inklusivität von kurzen Wegen betont, da sorgebedürftige Personen wie Kinder oder ältere Menschen diese Wege selbstständiger zurücklegen können (B-M, DD, NO, P/L, WOB). Gerade medizinische Infrastruktur und das Vorhandensein von Pflegeangeboten sind ein entscheidender Faktor, ob Menschen, die auf diese angewiesen sind, vor Ort und somit in der Nähe ihrer Familie und des vertrauten Umfelds bleiben können (FI, P/L, NO, RE, WOB, WM8, Z-R). Durch ortsnahe Lebensmittel-, Bildungs-, Kultur- und Freizeitangebote werden zudem alltägliche Begegnungen gefördert, womit Einsamkeit und Anonymität vorgebeugt wird (B-M, FI, FRI, OB, NO, UL, RE, WOB, WM8, Z-R).

Das soziale Miteinander und die Teilhabe sollen durch (nachbarschaftliche) Orte der Begegnung wie belebte Marktplätze, Gemeinschaftshäusern, Gärten, teils inklusiv gedachten Cafés oder Bars, Tauschbörsen und Orte des handwerklichen Selbermachens, wie Repair-Cafés, Näh- oder Zeichenkreise gefördert werden (B-M, DD, FI, FRI, KN, OB, NO, P/L, WOB, WM8, Z-R). Diese Orte werden vor allem aufgrund ihrer Funktion als Treff-, Lern- und Austauschräume gewünscht.

Der Wunsch nach Gemeinschaft und Teilhabe ist auch bei Fragen des Wohnens präsent. Generationsübergreifende, sozial und kulturell gemischte Wohnformen sollen Gemeinschaft und eine leichtere Anpassung der Wohnverhältnisse an die Lebenssituation fördern (FI, KN, LG, NO, P/L, UL, WOB, WM8, Z-R). Es finden sich zwar auch Wünsche nach privaten Rückzugsmöglichkeiten, welche jedoch nicht als Ausschluss, sondern als Ausgleich formuliert werden (NO, WOB).

Insbesondere in Bezug auf Teilhabechancen werden Gerechtigkeitsfragen thematisiert, denn es wird gefragt, welche Zugänge zum städtischen Raum für wen geschaffen oder erschwert werden. Gemeinschaft wird inklusiv gedacht und vielfach werden Gruppen erwähnt, deren Bedürfnisse in Kommunen bisher eher weniger Platz finden (Alte, Kinder, Jugendliche, Pflegebedürftige, sozial marginalisierte Milieus).

(3) Auch (individuelle) ökonomische Vorteile werden von der Umsetzung kommunaler Suffizienzmaßnahmen erwartet. Durch Infrastrukturangebote, die Tauschen, Weiterverkaufen oder Reparieren ermöglichen (z. B. Tauschbörsen, Flohmärkte, Repair-Cafés) wird sich eine finanzielle Ersparnis erhofft (NO).

Im Kontext von gemeinschaftlichen und dichteren Wohnformen können Wünsche erfüllt werden, die für viele allein schwer zu finanzieren wären, wie Veranstaltungsräume, Gästewohnungen oder Gemeinschaftsgärten (NO). Bezüglich der Bezahlbarkeit von Wohnraum wird auch die Frage nach alternativen Eigentumsmodellen und der Förderung nichtkommerzieller Besitzstrukturen wie Genossenschaften aufgeworfen (KN, NO, WM8, WOB, Z-R).

Zudem spielt eine Stärkung der regionalen Wirtschaft, darunter auch die Förderung regionaler Lebensmittelproduktion

und -vermarktung eine Rolle (B-M DD, FRI, LG, NO, OB, WOB, WM8). Dadurch sollen Arbeitsplätzen vor Ort erhalten bzw. geschaffen werden (FI, NO, WOB, Z-R).

(4) Auch verschiedene Dimensionen ökologischer Vorteile werden in Bezug auf Suffizienzmaßnahmen genannt. Eine Verbesserung der Biodiversität wird im Kontext der Schaffung von Grünflächen und Biotopvernetzung genannt (NO). Ressourcenschonung soll durch nachhaltige Mobilität erreicht werden (B-M, FRI, KN, NO, WOB, WM8). Konsumreduktion durch Reparatur und Tausch von Produkten (DD, FRI, LG, NO) sowie Müllvermeidung (B-M, NO, WM8, WOB).

Auch die unmittelbar erfahrbare Knappheit der Ressource Fläche wird in einigen Kommunen thematisiert und damit verbunden der Wunsch nach einer Vermeidung von Leerstand und Unternutzung von Wohnraum, beispielsweise in Form von Ferienwohnungen oder (zu) großen Wohnungen für Alleinlebende (DD, KN, WM8, WOB). Auch die ökologischen Folgen der weiterhin stark steigenden Flächenversiegelung werden angemahnt und als Gegenmaßnahme die Konzentration auf Innen- statt Außenentwicklung benannt (KN, NO, WOB).

Insgesamt zeigt sich über alle Kategorien hinweg eine große Bandbreite von suffizienzorientierten Ideen. Sie reichen von kleinteiligen Ansatzpunkten an individuellem Konsumverhalten wie der Reparaturen von defekten Gegenständen und dem urbanen Gärtnern über die Reduktion der Automobilität und der Förderung von Fahrrad-, Fuß- und ÖPNV bis hin zu großskaligen Umgestaltungen von städtebaulichen und versorgungsökonomischen Strukturen im Sinne einer Stadt der kurzen Wege. Gemein ist vielen dieser Ideen, dass sie entlang sozialer Fragen entwickelt werden, sodass beispielsweise bei kurzen Wegen der Wunsch nach Teilhabe (von mobilitätseingeschränkten Personen) und der nachbarschaftlichen Vergemeinschaftung in den Fokus rücken.

## Diskussion

Im Folgenden ordnen wir zunächst die Ergebnisse anhand von Erkenntnissen aus der Beteiligungsforschung ein. Darauf aufbauend erörtern wir Lehren für die Legitimation, Konzeption und das Framing von kommunalen Suffizienzmaßnahmen und formulieren Thesen, warum insbesondere *soziale* Begründungszusammenhänge auftreten.

### Reflexion der Ergebnisse

Die Ergebnisse entstammen nicht quotierten, selbstselektiven Beteiligungsformaten und hängen daher neben der Prozessgestaltung davon ab, wer sich beteiligt und welche Gruppendynamiken sich ergeben. Selbstselektive Partizipationsprozesse sind nicht gesellschaftlich repräsentativ, meist sind bildungsnahe Bevölkerungsgruppen überproportional vertreten (Bödeker 2012, 37 f.). Die Ergebnisse von Beteiligungsverfahren lassen sich dementsprechend nicht als verallgemeinerbares Meinungsbild betrachten und es ist zu vermuten, dass die Teilnehmenden an



den Beteiligungsformaten tendenziell positiver auf Fragen des Umweltschutzes und der sozialen Gerechtigkeit blicken als der Bevölkerungsdurchschnitt (Rubik et al. 2019, S. 73 ff.). Nichtsdestotrotz können derartige Beteiligungsprozesse die Legitimität von politischen Entscheidungen erhöhen, lokales Wissen bereitstellen und als Testballons für Ideen zukünftiger Entwicklung dienen (Goldschmidt 2014, S. 40 ff.). In diesem Sinne lassen sich die Ergebnisse zur Untersuchung der Co-Benefits als wichtige Wissensbasis für eine suffizienzorientierte Stadtentwicklung und deren Legitimation sowie als Ansatzpunkt für weitere Forschungsarbeiten verstehen. Beispielsweise könnten die Ergebnisse mithilfe einer repräsentativen Befragung überprüft werden.

### Konzeptionierung von Suffizienzmaßnahmen

Zu beobachten ist, dass eine suffizienzorientierte Stadtentwicklung im Kontext sozialer Fragen gewünscht wird, wohingegen ökologische Kriterien eher vereinzelt oder am Rande eine Rolle spielen. Durch ein Explizieren der Argumente bezüglich Gesundheitsschutz, Gemeinschaft und Teilhabe sowie der ökonomischen Vorteile kann Suffizienz unmittelbar attraktiver und damit die Output-Dimension der Legitimität dieser Maßnahmen adressiert werden. Dies kann auch beim Framing genutzt werden, wenn statt einer reinen Fokussierung auf die Reduktion ökologischer Schäden entsprechende Co-Benefits in den Fokus gerückt werden. Auch Creutzig et al. (2021) zeigen, dass verbrauchsseitige Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen wie die Reduktion von Lebensmittelabfällen, motorisiertem (Individual-)verkehr oder eine Stadt der kurzen Wege positive Auswirkungen auf die Lebensqualität haben, insbesondere in Bezug auf Energieverfügbarkeit, Gesundheits- und Luftqualität.

Um die Output-Dimension der Legitimität zu steigern, kön-

*Inbesondere die Sektoren Gesundheit sowie Teilhabe und Gemeinschaft spielen eine zentrale Rolle bei der Konzeptionierung.*

nen Suffizienzmaßnahmen so konzipiert werden, dass sie stärker an den identifizierten Alltagsproblemen und -sehnsüchten andocken. Spitzner (2021) schlägt beispielsweise einen kostenlosen und gut ausgebauten ÖPNV als Suffizienzmaßnahme vor, aufbauend auf einer Analyse alltäglicher Ausschlüsse von Sorgeleistenden und -bedürftigen in einem autoorientierten Mobilitätssystem.

Gleichzeitig birgt eine Auswahl und Konzeptionierung von Suffizienzmaßnahmen entlang ihrer positiven sozialen und ökonomischen Wirkungen die Gefahr, dass ökologisch wirkungsvolle Maßnahmen aufgrund geringerer Co-Benefits und größerem (erwartetem) Widerstand ausgeklammert werden. Dies

kann dazu beitragen, dass insbesondere Suffizienzmaßnahmen, die dem Bestehenden weitere Optionen hinzufügen, gefördert und stärker reduktiv wirkende Maßnahmen weniger beachtet werden. So wäre es denkbar, dass Repair-Cafés oder Handarbeitszirkel, welche aufgrund der Gemeinschaftsförderung gewünscht wurden, politisch gefördert werden, ein Neubau von Supermärkten am Dorf- oder Stadtrand jedoch nicht verhindert wird. Dies kann dazu beitragen, dass die Suffizienzstrategie ihr kritisches und transformatives Potential verliert, welches ihr im Sinne einer grundlegend anderen Systemlogik verschiedentlich zugeschrieben wird (Princen 2005; Winterfeld 2017).

### Fazit

Wir beobachten in den untersuchten Beteiligungsprozessen eine große Bandbreite von Suffizienzmaßnahmen als Teil der Visionen für die Kommunen im Jahr 2030. Dabei werden sich auch Maßnahmen gewünscht, die vielfach als ‚Verzicht‘ abqualifiziert werden, wie die Reduktion des Autoverkehrs oder dichteres Wohnen anstelle des eigenen Einfamilienhauses. Da es sich um selbstselektive Beteiligungsprozesse handelt, sind diese Visionen von Stadtentwicklung nicht verallgemeinerbar. Interessant ist jedoch, dass die darin enthaltenen Suffizienzmaßnahmen vor allem als Antworten auf grundlegende soziale und ökonomische Probleme formuliert wurden. Insbesondere die Sektoren Gesundheit sowie Teilhabe und Gemeinschaft spielen eine zentrale Rolle bei der Konzeptionierung.

Damit stärken die Ergebnisse die Relevanz der Betonung der sozialen Dimension der Suffizienzstrategie. Die vermeintlichen Co-Benefits von Suffizienzmaßnahmen können die eigentlichen Main-Benefits darstellen. Für das Framing bedeutet dies, die sozialen Wirkungen stärker in den Mittelpunkt zu rücken und bei der Konzeptionierung nicht allein Bezug auf ökologische Dimensionen, sondern auch soziale Probleme zu nehmen. Wenn Suffizienzmaßnahmen, so legen die Ergebnisse dieser Untersuchung nahe, Fragen von Gesundheit, Teilhabe und Gemeinschaft adressieren oder ökonomische Vorteile bieten, erhöht sich die outputorientierte Legitimität von Suffizienzmaßnahmen.

**Acknowledgements** • Wir danken Norah Kristen für die Unterstützung bei der Recherche sowie den Kolleg\*innen vom Norbert Elias Center der Europa-Universität Flensburg für hilfreiches Feedback.

**Funding** • Die diesem Artikel zugrundeliegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01UU2004A sowie von der Robert Bosch Stiftung gefördert.

**Competing interests** • The author declares no competing interests.

### Forschungsdaten

(Falls online verfügbar wurden URLs zuletzt geprüft am 01.06.2022)

Berlin Mierendorff INSEL (B-M) (2019): Die Nachhaltige Mierendorff-Insel 2030. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, [https://mierendorffinsel.org/wp-content/uploads/2020/01/Mierendorffinsel\\_FEIN\\_2014-2019.pdf](https://mierendorffinsel.org/wp-content/uploads/2020/01/Mierendorffinsel_FEIN_2014-2019.pdf).

- Dresden (DD) (2016): Open City Dresden. Dresden: o. V., <https://www.zukunftsstadt-dresden.de/wp-content/uploads/2021/06/xZwischenergebnisse-Zukunftsstadt-Dresden-Februar2016.pdf>; [https://www.zukunftsstadt-dresden.de/wp-content/uploads/2018/01/ZukunftsBild\\_Version\\_1.0.pdf](https://www.zukunftsstadt-dresden.de/wp-content/uploads/2018/01/ZukunftsBild_Version_1.0.pdf).
- Finsterwalde (FI) (2016): Wider die Ratlosigkeit. Finsterwalde: Stadt Finsterwalde, [https://www.finsterwalde.de/images/pdf/Wirtschaft/2016-05-20\\_Dokumentation\\_Zukunftsstadt\\_Finsterwalde-com.pdf](https://www.finsterwalde.de/images/pdf/Wirtschaft/2016-05-20_Dokumentation_Zukunftsstadt_Finsterwalde-com.pdf).
- Friedrichstadt (FRI) (2016): Ideenwelt – Dokumentation. (Broschüre) o. O: o. V.
- Konstanz (KN) (2016): Viel See, mehr Menschen, wenig Land. Konstanzer Quartiere der Zukunft entwickeln. Konstanz: Stadt Konstanz, [https://plattform-n.org/project/seminar-postwachstumsokonomiezukunftsst/file/broschure\\_zukunftsstadtpdf/download](https://plattform-n.org/project/seminar-postwachstumsokonomiezukunftsst/file/broschure_zukunftsstadtpdf/download).
- Lüneburg (LG) (2016): Zukunftsstadt Lüneburg 2030+. Lüneburg: Zukunftsstadtbüro, <https://www.lueneburg2030.de/>.
- Norderstedt (NO) (2016): Norderstedt – Vorsprung durch Nachhaltigkeit. Norderstedt: Amt Nachhaltiges Norderstedt, [https://www.norderstedt.de/media/custom/1917\\_6318\\_1.PDF?1481712130](https://www.norderstedt.de/media/custom/1917_6318_1.PDF?1481712130).
- Oberhausen (OB) (2016): Vision Oberhausen 2030+ – Gegenwart, Visionen, Zukunft. Oberhausen: Dezernat Umwelt, Gesundheit, ökologische Stadtentwicklung und -planung, [https://www.oberhausen.de/de/index/stadtentwicklung-umwelt/stadtentwicklung/stadtentwicklung-material/160616\\_zukunfts bild\\_broschuere\\_oberhausen.pdf](https://www.oberhausen.de/de/index/stadtentwicklung-umwelt/stadtentwicklung/stadtentwicklung-material/160616_zukunfts bild_broschuere_oberhausen.pdf).
- Peenetal/Loitz (P/L) (2016): Schlussbericht Zukunftsstadt Phase 1. (Broschüre) o. O: o. V.
- Recklinghausen (RE) (2016): Glückauf in die Zukunft – Vision 2030. Recklinghausen: Kreis Recklinghausen, [https://www.kreis-re.de/inhalte/bildung/regionales\\_bildungsnetzwerk/GI%C3%BCckauf\\_in\\_die\\_Zukunft\\_Zwischenbilanz\\_1.pdf](https://www.kreis-re.de/inhalte/bildung/regionales_bildungsnetzwerk/GI%C3%BCckauf_in_die_Zukunft_Zwischenbilanz_1.pdf).
- Rottal-Inn (R-I) (2016): Forschungsprojekt Zukunftsstadt. Was Rottal-Inn 2030+ braucht – Kurzergebnisse. Rottal: Landratsamt Rottal-Inn, [https://www.rottal-inn.de/fileadmin/rottal-inn/Dateien/Kreisentwicklung/Regionalmanagement/Zukunftsstadt\\_Endversion.pdf](https://www.rottal-inn.de/fileadmin/rottal-inn/Dateien/Kreisentwicklung/Regionalmanagement/Zukunftsstadt_Endversion.pdf).
- Ulm (UL) (2016): Wettbewerb Zukunftsstadt Ulm. Vision 2030+. Abschlussbericht der ersten Phase mit den Ergebnissen der Begleitforschung. Friedrichshafen: The Open Government Institute (TOGI) Lehrstuhl für Verwaltungs- und Wirtschaftsinformatik Zeppelin Universität gemeinnützige GmbH, <https://www.zukunftsstadt-ulm.de/sites/default/files/unit/files/togi-160616-ulm-abschlussbericht-zukunftsstadt-ulm-v1.pdf>.
- Wattenmeer-Achter (WM8) (2016): Wattenmeer-Achter 2030+. Wohnen, Arbeiten, Erleben. Abschlussbericht und Dokumentation der ersten Phase des Wettbewerbs Zukunftsstadt. Oldenburg: ARSU GmbH, [https://wattenmeer-achter.de/zukunftsstadt/wp-content/uploads/2016/06/Zukunftsstadt-WM8\\_Abschlussbericht-Phase-11.pdf](https://wattenmeer-achter.de/zukunftsstadt/wp-content/uploads/2016/06/Zukunftsstadt-WM8_Abschlussbericht-Phase-11.pdf).
- Wolfsburg (WOB) (2016): ViWoWolfsburg 2030+. Wolfsburg: Strategische Olanung, Stadtentwicklung, [https://www.wolfsburg.de/~media/wolfsburg/statistik\\_daten\\_fakten/buergerbeteiligung/mitwirkung/buerger-ws-zukunftsstadt\\_dokumentation.pdf](https://www.wolfsburg.de/~media/wolfsburg/statistik_daten_fakten/buergerbeteiligung/mitwirkung/buerger-ws-zukunftsstadt_dokumentation.pdf); [https://www.wolfsburg.de/~media/wolfsburg/statistik\\_daten\\_fakten/statistik\\_daten\\_und\\_fakten/zukunftsworkstatt/20171017\\_vorstellungen\\_und\\_visionen\\_wettbewerb\\_zukunftsstadt\\_phase\\_1.pdf?la=de-DE](https://www.wolfsburg.de/~media/wolfsburg/statistik_daten_fakten/statistik_daten_und_fakten/zukunftsworkstatt/20171017_vorstellungen_und_visionen_wettbewerb_zukunftsstadt_phase_1.pdf?la=de-DE).
- ZuBRA-Region (Z-R) (2016): Visionsentwicklung ZuBRA 2030+. Kassel: Universität Kassel, <https://www.uni-kassel.de/fb06/institute/institut-fuer-urbane-entwicklungen/fachgebiete/oekonomie-der-stadt-und-regionalentwicklung/forschung/zukunftsstadt-zubra-2030>.

## Literatur

- Abt, Jan; Pätzold, Ricarda (2017): Neue Formen des gemeinschaftlichen Wohnens. Definition des Forschungsgegenstands. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik. Online verfügbar unter [https://projekt.itz.de/fileadmin/downloads/pdf/potsdam/Definition\\_gemeinschaftlicher\\_Wohnformen\\_FIN.pdf](https://projekt.itz.de/fileadmin/downloads/pdf/potsdam/Definition_gemeinschaftlicher_Wohnformen_FIN.pdf), zuletzt geprüft am 30.05.2022.
- Böcker, Maïke; Brüggemann, Henning; Christ, Michaela; Knak, Alexandra; Lage, Jonas; Sommer, Bernd (2021): Wie wird weniger genug? Suffizienz als Strategie für eine nachhaltige Stadtentwicklung. München: oekom, <https://doi.org/10.14512/9783962388041>
- Bödeker, Sebastian (2012): Soziale Ungleichheit und politische Partizipation in Deutschland. Grenzen politischer Gleichheit in der Bürgergesellschaft. Frankfurt a. M.: Otto Brenner Stiftung. Online verfügbar unter [https://www.otto-brenner-stiftung.de/fileadmin/user\\_data/stiftung/02\\_Wissenschaftsportal/03\\_Publikationen/AP01\\_SozialeUngleichheit\\_Boedeker\\_2012\\_02\\_07.pdf](https://www.otto-brenner-stiftung.de/fileadmin/user_data/stiftung/02_Wissenschaftsportal/03_Publikationen/AP01_SozialeUngleichheit_Boedeker_2012_02_07.pdf), zuletzt geprüft am 30.05.2022.
- Bohnenberger, Katharina (2021): Can 'sufficiency' reconcile social and environmental goals? A Q-methodological analysis of German housing policy. In: *Journal of Housing and the Built Environment* 36 (1), S. 171–189. <https://doi.org/10.1007/s10901-020-09762-4>
- Brunori, Gianluca; Di Iacovo, Francesco (2014): Urban food security and landscape change. A demand-side approach. In: *Landscape Research* 39 (2), S. 141–157. <https://doi.org/10.1080/01426397.2014.891725>
- Christ, Michaela; Lage, Jonas (2020): Umkämpfte Räume. Suffizienzpolitik als Lösung für sozial-ökologische Probleme in der Stadt? In: Anton Brokow-Loga und Frank Eckhardt (Hg.): *Postwachstumsstadt. Konturen einer solidarischen Stadtpolitik*. München: oekom, S. 184–203.
- Cohen, Maurie (2021): New conceptions of sufficient home size in high-income countries. Are we approaching a sustainable consumption transition? In: *Housing Theory & Society* 38 (2), S. 173–203. <https://doi.org/10.1080/14036096.2020.1722218>
- Creutzig, Felix et al. (2021): Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being. In: *Nature Climate Change* 12 (1), S. 36–46. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01219-y>
- Di Giulio, Antonietta; Fuchs, Doris (2014): Sustainable consumption corridors. Concept, objections, and responses. In: *GAIA. Ecological Perspectives for Science and Society* 23 (3), S. 184–192. <https://doi.org/10.14512/gaia.23.S1.6>
- Entman, Robert (1993): Framing. Toward clarification of a fractured paradigm. In: *Journal of Communication* 43 (4), S. 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1993.tb01304.x>
- Fischer, Corinna; Griebhammer, Rainer (2013): Mehr als nur weniger. Suffizienz. Begriff, Begründung und Potenziale. (Working paper) Freiburg: Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/1836/2013-505-de.pdf>, zuletzt geprüft am 30.05.2022.
- Goldschmidt, Rüdiger (2014): Kriterien zur Evaluation von Dialog- und Beteiligungsverfahren. Konzeptuelle Ausarbeitung eines integrativen Systems aus sechs Metakriterien. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-06120-3>
- Huber, Joseph (2000): Industrielle Ökologie. Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung. Konferenzbeitrag auf der VDW-Jahrestagung „Global Change“, Berlin, 28.–29. Oktober 1999. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssor-121622>, zuletzt geprüft am 30.05.2022.

Karlsson, Mikael; Alfredsson, Eva; Westling, Nils (2020): Climate policy co-benefits. A review. In: *Climate Policy* 20 (3), S. 292–316. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070>

Princen, Thomas (2005): *The logic of sufficiency*. Cambridge, MA: MIT Press.

Rubik, Frieder; Müller, Ria; Harnisch, Richard; Holzhauer, Brigitte; Schipperges, Michael; Geiger, Sonja (2019): *Umweltbewusstsein in Deutschland 2018. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit; Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/ubs2018\\_-\\_m\\_3.3\\_basisdatenbroschuere\\_barrierefrei-02\\_cps\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/ubs2018_-_m_3.3_basisdatenbroschuere_barrierefrei-02_cps_bf.pdf), zuletzt geprüft am 30.05.2022.

Sachs, Wolfgang (1993): Die vier E's: Merkposten für einen maßvollen Wirtschaftsstil. In: *Politische Ökologie* 11 (33), S. 69–72.

Scharpf, Fritz (1999): *Regieren in Europa. Effektiv und demokratisch?* Frankfurt a. M.: Campus Verlag.

Schneidewind, Uwe; Zahrnt, Angelika; Zahrnt, Valentin (2013): *Damit gutes Leben einfacher wird. Perspektiven einer Suffizienzpolitik*. München: oekom. <https://doi.org/10.14512/9783865816481>

Schubert, Klaus; Klein, Martina (Hg.) (2018): *Das Politiklexikon. Begriffe, Fakten, Zusammenhänge*. Bonn: Verlag J. H. W. Dietz Nachf.

Spengler, Laura (2018): *Sufficiency as policy. Necessity, possibilities and limitations*. Baden-Baden: Nomos. <https://doi.org/10.5771/9783845284743>

Spitzner, Meike (2021): Für emanzipative Suffizienz-Perspektiven. *Green New Deal statt nachhaltiger Bewältigung der Versorgungsökonomie-Krise und Verkehrsvermeidung?* In: *PROKLA* 51 (202), S. 95–114. <https://doi.org/10.32387/prokla.v51i202.1934>

Winterfeld, Uta von (2017): Politische Stachel der Suffizienz. In: Frank Adler und Ulrich Schachtschneider (Hg.): *Postwachstumspolitiken. Wege zur wachstumsunabhängigen Gesellschaft*. München: oekom, S. 65–76.



### JONAS LAGE

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Norbert Elias Center for Transformation Design und Research der Europa-Universität Flensburg. Gegenwärtig promoviert er im Rahmen der BMBF-Nachwuchsforschungsgruppe ‚Die Rolle von Energiesuffizienz in Energiewende und Gesellschaft‘ zu Fragen suffizienzorientierter Stadtentwicklung.



### MARIE GRAEF

promoviert am Lehrstuhl für Umwelt- und Techniksoziologie der Universität Stuttgart und ist Mitglied des interdisziplinären Graduiertenkollegs ‚Mittelstadt als Mitmachstadt. Qualitativer Wandel durch neue Kulturen des Stadtmachens‘. Sie forscht zu Transformationswissen im kommunalen Klimaschutzmanagement.

RESEARCH ARTICLE

# Wie neu ist Energiesuffizienz?: Eine Spurensuche in der Geschichte des Energiesparens

Nicole Hesse\*<sup>1</sup> , Christian Zumbärgel<sup>2</sup> 

56

**Zusammenfassung** • Die Verfügbarkeit von immer größeren Energiemengen ist die Grundlage unseres heutigen energieintensiven Lebensstils. Entsprechend haben sich historische Energieforschungen primär mit dem seit rund zweihundert Jahren anhaltenden Wachstum des Energieverbrauchs auseinandergesetzt. Auf dem Weg in nachhaltige Energiezukünfte gilt es aber, das Energieverbrauchslevel zu senken. Der Beitrag begibt sich auf eine historische Spurensuche nach dem Energiesparen und zeigt auf, dass aktuelle Diskussionen über Energiesuffizienz Ausprägungen eines Diskurses darstellen, der mindestens bis in die Frühe Neuzeit zurückreicht und seitdem immer wieder Aktualisierungen erfahren hat.

## How new is energy sufficiency?:

*Tracing the history of energy conservation*

**Abstract** • *The availability of ever-increasing amounts of energy are the basis of our current energy-intensive lifestyle. Accordingly, historians of energy have primarily addressed the growth in energy consumption that has lasted for about two hundred years. On the way to sustainable energy futures, it is necessary to reduce the overall energy consumption level. The article searches for historical traces of energy conservation and points out that current discussions about energy sufficiency are expressions of a discourse that goes back at least to the early modern period and has recurrently been updated since then.*

**Keywords** • *energy history, energy transition, energy conservation, wind energy, hydropower*

*This article is part of the Special topic “Exploring energy sufficiency: Conceptual considerations, modeling and scenarios for less energy consumption,” <https://doi.org/10.14512/tatup.31.2.10>, edited by B. Best, F. Wiese, M. Christ and T. Santarius.*

## Einleitung

Ist es das gesellschaftliche Ziel, die schlimmsten Folgen des Klimawandels abzuwenden, so gelingt dies nur, wenn das in fossilen Energieträgern gebundene CO<sub>2</sub> nicht in großen Mengen freigesetzt wird. Beim gegenwärtigen Umbau der Energiesysteme ist daher das Sparen, d. h. die reduzierte Nutzung und Nichtnutzung vorhandener Energieressourcen, von großer Bedeutung. Die derzeitige Energiekrise, ausgelöst durch den Krieg in der Ukraine, offenbart allerdings einmal mehr die strukturellen Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern, sodass jüngst Aufrufe zur Verringerung des Energiebedarfs in Industrie und Haushalt laut wurden. Diese Forderungen führen uns gleichzeitig vor Augen, dass Überlegungen zur Energiesuffizienz, die auf eine Veränderung etablierter Routinen und Gewohnheiten abzielen, in den Diskussionen zur Energiewende noch immer weit hinter den Komplementärstrategien Effizienz und Konsistenz zurückstehen, die auf innovative Techniklösungen setzen – vom „Climate Engineering“ bis zum Ausbau erneuerbarer Energietechniken (Linz 2015, S. 5–6).

Im Unterschied zu historischen Transformationsphasen, die zumeist von einem Mangel an Energie geprägt waren, stehen wir in westlichen Industrieländern heute vor der Herausforderung, den Wandel zu einem niedrigen und ressourcenschonenden Energieverbrauchslevel aus einer Situation des Überflusses heraus zu gestalten. Der ubiquitäre Gebrauch von Energie geht auf die westliche Industrialisierung zurück und beschreibt eine kurze Zeitspanne des energiehistorischen Wandels. In vorindustriellen Energieregimen waren Versorgungsengpässe viel eher der Regelfall; in vielen Kulturräumen ist der sparsame Umgang mit

\* Corresponding author: [nicole.hesse@kit.edu](mailto:nicole.hesse@kit.edu)

<sup>1</sup> Institut für Technikzukünfte, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, DE

<sup>2</sup> Fachgebiet Technikgeschichte, TU Universität Berlin, Berlin, DE



© 2022 by the authors; licensee oekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).

<https://doi.org/10.14512/tatup.31.1.15>

Received: Jan. 28, 2021; revised version accepted: May 04, 2022;

published online: Jul. 18, 2022 (peer review)

dem lokal begrenzten Energieangebot nach wie vor eine gängige Alltagspraxis (Hasenöhl und Kupper 2022, S. 9). Vor diesem Hintergrund verwundert es, dass Energiehistoriker:innen bislang selten auf das Energiesparen geschaut haben (Turnbull 2020). Dabei kann ein besseres Verständnis historischen Energiesparens dabei helfen, gegenwärtige Fragen um die Energiesuffizienz in einem breiteren historischen Kontext zu beleuchten.

An Beispielen aus westlichen Industrienationen geht der Beitrag den Spuren energiesparender Aktivitäten und bedarfsge-rechter Energiehandlungen in den Jahrzehnten um 1900 nach – eine energiehistorische Umbruchphase, in der das Aufkommen der Elektrizität neue Zukunftserwartungen befeuerte, traditionelle Energietechniken wie mechanische Wind- und Wasserkraftantriebe aber immer noch weit verbreitet waren. In Anlehn-

*Soll der Begriff Energiesuffizienz für die Energiewende wirkungsvoll werden, müssen entsprechende Suffizienzstrategien an konkreten Alltagshandlungen ansetzen.*

nung an aktuelle Suffizienz-Debatten untersuchen wir ‚historische Suffizienzpraktiken‘, womit Strategien zur bewussten bedarfs- und verfügbarkeitsorientierten Regulierung der örtlichen Energieflüsse gemeint sind, die in Distanz zu den zentralisierten Strukturen der Kohlen- und Elektrizitätswirtschaft über lange Zeiträume ein charakteristisches Merkmal dezentraler Energiesysteme im ländlichen Raum waren.

Allerdings sind diese historischen Suffizienzstrategien im Kontext ihrer Zeit zu begreifen. Die Energiehandlungen der Akteure um 1900 folgten handfesten wirtschaftlichen Motiven; ihr alltägliches Tun orientierte sich aber noch nicht an Leitgedanken einer ökologischen Nachhaltigkeit, auf denen heute Effizienz, Konsistenz und Suffizienz basieren. Insofern sind Vorstellungen, die gegenwärtig mit dem Begriff Energiesuffizienz verknüpft werden, nicht deckungsgleich auf die Fallbeispiele des Beitrags übertragbar. Historische Suffizienzpraktiken waren an lokalen Arbeitstraditionen und Umweltbedingungen ausgerichtet und flexibel an die örtlichen Verfügbarkeiten angepasst, was die damaligen Akteure regelmäßig mit Engpässen aber auch Überschüssen im Energieangebot konfrontierte. Soll der Begriff Energiesuffizienz für die Energiewende wirkungsvoll werden, müssen entsprechende Suffizienzstrategien an konkreten Alltagshandlungen ansetzen, die den Bedarf und lokale Verfügbarkeiten an Energie flexibel aufeinander abstimmen (Sachs 2015, S. 6).

## Von Holzsparkünsten und Kalorienjägern: Energiesuffizienz als Krisenphänomen

Wenn Engpässe in der Energieversorgung drohen, nehmen Reflexionen über die Regulierung und Einsparung von Energie sprunghaft zu. Diese Korrelationen kennzeichnen aktuelle und vergangene Energiedebatten gleichermaßen.

Im 18. Jahrhundert mehrten sich Klagen über eine Verknappung des Rohstoffs Holz – dem wichtigsten vorindustriellen Energieträger. In diese Zeit fallen zahlreiche Verordnungen, die den Umgang mit Energievorräten reglementierten. Waldordnungen und Forsterlasse beschnitten lokale bäuerliche Bevölkerungen in der subsistenzwirtschaftlichen Nutzung der Wälder und etablierten eine neue Form der Waldbewirtschaftung, die auf eine regulierte und maximierte, d. h. ökonomisch nachhaltige, Holzproduktion abzielte. Holzsparsvorschriften untersagten das Aufstellen von Maibäumen oder sogar die Verwendung von Holzsärgen bei Beerdigungszeremonien. Aber auch technische Innovationen sollten zur Holzsparsparnis beitragen. Im Forschungsfeld der ‚Holzsparkünste‘ befassten sich Techniker mit optimierten Fensterverglasungen, der Umstellung auf die Kohlefeuerung und vor allem holzsparenden Öfen. Die Holzkrise um 1800 war wirkmächtig, indem sie Umgangsweisen mit Energie prägte und letztlich auch den Ausgangspunkt für den Begriff der Nachhaltigkeit bildete, der in seiner Erweiterung um ökologische Kriterien für das heutige Suffizienzverständnis zentral ist (Radkau 2007, S. 229 f.).

Im Umfeld der Weltkriege des 20. Jahrhunderts rückten in Deutschland erneut Sorgen um Energieknappheiten in den Mittelpunkt gesellschaftspolitischer Debatten. Reparationszahlungen verlangten die Abtretung großer Mengen Steinkohlen und wichtiger Fördergebiete (Heymann 1995, S. 107 ff.). Der Mangel an Arbeitskräften sowie Transportprobleme durch die kriegsgeschädigte Infrastruktur beflügelten die Sorgen vor einer umfassenden „Kohlennot“, weshalb der Reichskommissar für die Kohlenverteilung, Georg Dettmar, 1918 forderte, „äußerste Sparsamkeit in dem Verbrauch von Kohlen walten [zu] lassen“ (Dettmar 1918, S. 73). In Analogie zu den Holzspar(vor)schriften vorheriger Jahrhunderte überfluteten „Kohlensparschriften“ den deutschen Buchmarkt, in denen „Kalorienjäger“ Energiesparmaßnahmen präsentierten (Radkau 2008, S. 291; Nägele 1922). In Arbeiterhaushalten gehörten Kochkisten oder auch Grudeherde zu Mitteln des Energiesparens. In diesen Vertiefungen der Kochherde wurden aufgekochte Speisen auf heißer Asche langsam gegart oder warmhielten (Dettmar 1920, S. 56). Selbst in Wohnungen, die schon in der Zwischenkriegszeit mit einer Zentralheizung ausgestattet waren, verlagerte sich das häusliche Leben zurück in die Küche, die „letzte Zufluchtstätte gegen zeitweise recht grimmige Kälte“ (ebd., S. 57). Unter den Nationalsozialisten wurde die Energie- und Kohlenwirtschaft neu geordnet und ab 1936 dem Vierjahresplan unterstellt, was auch den privaten Energiekonsum einschränkte. Im Zweiten Weltkrieg forderten Zeitungsanzeigen den „Fahrstoffel“ zum „Kraftstoffsparen“ auf (Abb. 1).





Abb. 1: Zeitungsanzeigen riefen auf, den „Fahrstoffel“ zur Anzeige zu bringen, der ohne Ladung fuhr, durch Umwege Kraftstoffe verschwendete und die Fahrzeugpflege vernachlässigte.

Quelle: o. A. 1944, Anzeigenteil.

Mit Propagandaparen wie „Fast den Kohlenklau“ appellierte das NS-Regime an den sparsamen Umgang mit der heimischen Kohle, die zwar reichlich gefördert wurde, durch den Krieg aber zum raren Gut geworden war (Wuttke 2018, S. 207). Die Kohlenöte der Weltkriegsjahre weckten auch das Bewusstsein für die Endlichkeit der ‚Schwarzen Kohle‘ und führten die Abhängigkeit der Energiewirtschaft von fossilen Rohstoffen deutlich vor Augen.

Während der beiden Ölkrisen (1973–74, 1979–80), als die Golfstaaten den Öllexport an die westlichen Industrienationen drastisch einschränkten, kehrten viele Maßnahmen zur Substitution und Einsparung von Energie zurück. Die Spannweite reichte vom Ausbau der Solar- und Kernenergie und einem neuen Interesse an der Windkraft über Wärmedämmungen bei

## *Diese suffizienzpolitischen Maßnahmen waren keine reine Symbolpolitik, sondern reduzierten am Ende der 1970er-Jahre tatsächlich den Verbrauch von Heizöl und Benzin.*

Wohnhäusern bis zu Sparmaßnahmen wie eingeschränkte Straßenbeleuchtungen, autofreie Sonntage oder das Tempolimit (Wellum 2020). Mit einem eindringlichen Appell forderte etwa Richard Nixon die amerikanischen Bürger:innen in seiner energiepolitischen Rede am 07. November 1973 zur Einschränkung des Heizölverbrauchs auf: „Incidentally my doctor tells me that in a temperature of 66 to 68 degrees [Fahrenheit, ca. 19–20 °C; die Autor\*innen] you are really more healthy than when it is 75 to 78 [Fahrenheit, ca. 23–26 °C; die Autor\*innen], if that is any comfort. [...] I am directing that the daytime temperatures in federal office be reduced immediately to a level of between 65 and 68 degrees, and that means in this room, too, as in every other room in the White House“ (zit. n. Graf 2014, S. 168).

Diese suffizienzpolitischen Maßnahmen waren keine reine Symbolpolitik, sondern reduzierten am Ende der 1970er-Jahre tatsächlich den Verbrauch von Heizöl und Benzin (ebd., S. 171).

Auch im folgenden Jahrzehnt riefen Klimaforscher:innen auf der Basis von Klimamodellierungen zu „major restrictions on the use of global fossil resources“ auf, allerdings weniger um Engpässe in der Energieversorgung auszugleichen, sondern vielmehr um die Erderwärmung einzudämmen (Turnbull 2020). Daraus ging die Idee des globalen CO<sub>2</sub>-Budgets hervor, das in gegenwärtigen Diskussionen um die Energiesuffizienz als Einsparungsstrategie eine zentrale Rolle spielt.

## **Energiesparen als Alltagspraxis – dezentrale Wind- und Wasserkraft**

Allerdings trägt es der Komplexität des energiehistorischen Prozesses unzureichend Rechnung, wenn die Geschichte des Energiesparens allein auf diese Krisenzeiten reduziert wird. Einerseits konnten die Effekte der Sparmaßnahmen auf lange Sicht ins Gegenteil umschlagen oder nicht intendierte Folgeprobleme hervorrufen. Beispielsweise wurde der Absatz elektrischer Fußwärmer, Tauchsieder und Heizgeräte in der Zwischenkriegszeit gefördert, um den hohen Energieverbrauch ineffizienter Kohleöfen zu senken. Langfristig führte die ubiquitäre Verfügbarkeit an Elektrizität in den Haushalten allerdings dazu, dass sich der energieintensive Lebensstil immer stärker im Alltag der Menschen verfestigte (Gerber 2014). Gerätehersteller und Politik führten in den 1970er-Jahren Energielabel ein und bemühten sich, den Stromverbrauch großer Haushaltsgeräte zu senken. Wachsende Berge von Elektroschrott, Rebound-Effekte oder Fragen der geplanten Obsoleszenz wurden in den Werbekam-

pagnen für energieeffiziente Kühlschränke und Waschmaschinen allerdings geflissentlich ignoriert (Wölfel 2016). Zudem bestehen bezüglich der Zugriffsmöglichkeiten auf Energie seit jeher große regionale Unterschiede. In ländlichen Gebieten, denen der Zugang zu den Schienenwegen und Stromleitungen fehlte, war der bedarfsgerechte und verfügbarkeitsorientierte Umgang mit dem örtlichen Energieangebot fest in regionale Wirtschaftsformen eingeschrieben.

### **Windenergie**

In den windreichen Regionen Mitteleuropas sind Praktiken des Energiesparens seit dem 17. Jahrhundert im alltäglichen Energiehandeln verankert: so etwa in zum Teil abgelegenen norddeutschen Küstengebieten oder im Südwesten Frankreichs zwischen Mittelmeer und Zentralmassiv. Während in den Jahrzehnten um 1900 mit der Elektrizität energietechnische Neuerungen

entstanden, gerieten seit Langem etablierte Formen der Energiegewinnung, wie die Windenergie, unter Innovationsdruck. Das führte jedoch nicht zu einer abrupten Ablösung dieser althergebrachten Praktiken und Techniken der Energieproduktion. In diesen windreichen Gegenden blieb die Windenergie für mechanische (seltener auch elektrische) Antriebe der Landwirtschaft, des Kleingewerbes, des Mühlenwesens und der kommunalen Versorgungsstrukturen noch nach 1900 wichtig (Abb. 2; Heymann 1995, S. 24–28).

Gründe für diese Persistenz sind durch einen näheren Blick auf die Praktiken vor Ort auszumachen. Die Gemeinden, Weingüter oder landwirtschaftlichen Höfe waren in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts nur selten an überregionale Verbundnetze der zentralisierten Elektrizitätswirtschaft angeschlossen. Zuweilen gab es zwar energetisch nutzbare Wasserläufe, viele Arbeiten wurden aber weiterhin durch tierische oder menschliche Kräfte erledigt (Kander et al. 2014, S. 131–158). Da mechanische Antriebskräfte im Alltag knapp waren, mussten die Gesellschaften vor Ort zwangsläufig bedarfsorientierte Energiesuffizienzpraktiken entwickeln.

Mit dem Wind stand eine Ressource zur Verfügung, die in ihrer zeiträumlichen Dimension zwar nicht regelmäßig verfügbar, aber dennoch lokal sinnvoll nutzbar war – insbesondere, weil praktisches Windwissen über die Energieform, ihre Anwendungsbereiche sowie die Ausnutzung verschiedener Windpotenziale seit langer Zeit das Gewerbeleben prägten.

Im trockenen Südwesten Frankreichs und in Norddeutschland fehlte am Anfang des 20. Jahrhunderts vielen Gemeinden und landwirtschaftlichen Höfen der Zugang zu einer Wasserver-



**Abb. 2:** Der Windmotor der Firma Köster versorgte um 1910 die 2000 Einwohner:innen von Klein-Niendorf in Norddeutschland mit Wasser.

Quelle: Köster 1946, S. 5. Mit Erlaubnis der Friedrich Köster GmbH & Co. KG

Die kommunalen Betreiber passten ihre Windenergieanlagen technisch an die lokalen Umwelt- und Nutzungsbedingungen an, indem sie die Turmhöhe und die Rotorengöße an dem örtlichen Windpotenzial ausrichteten. Für diese Anpassungsprozesse griffen die Windkraftbetreiber auf tradiertes lokales Erfahrungswissen zurück. Die mechanische Windnachführung ermöglichte eine effiziente Verwertung der Windkraft, die sich vorteilhaft auf die etablierten Arbeitsrhythmen auswirkte. Windpotenzial konnte so auch bei Nacht genutzt und die Petroleumhilfsmotoren, die in windstillen Perioden den Windmotor ersetzten, sparsam eingesetzt werden.

Auch in der Landwirtschaft orientierte sich der Einsatz windgetriebener Arbeitsmaschinen, etwa Häckselmaschinen, an den umweltbedingten Zyklen der Energiebereitstellung. Gehäck-

*Da mechanische Antriebskräfte im Alltag knapp waren,  
mussten die Gesellschaften vor Ort zwangsläufig bedarfsorientierte  
Energiesuffizienzpraktiken entwickeln.*

sorgungsinfrastruktur (Hesse 2021). Zu Fuß und mithilfe von Kannen und Eimern schafften die Anwohner:innen das Wasser aus Brunnen und entfernten Wasserquellen herbei. Um die Situation durch eine kostengünstige funktionale Pumpanlage verbessern zu können, griffen Gemeinden und landwirtschaftliche Betriebe auf die lokale Ressource Wind zurück, durch die Wasserleitungssysteme abseits überregionaler Strom- und Leitungsnetze implementiert werden konnten. Die Pumpanlagen waren an Windmotoren gekoppelt, die das Quell- oder Grundwasser über Leitungen in den Ort beförderten, wo es in einem zentralen Wasserreservoir gespeichert wurde. Da der Wind selbst nicht gespeichert, kanalisiert oder gestaut werden konnte, fand die Regulierung der Wasservorräte über diesen Energiespeicher statt. Bei ausreichend oder im Überfluss vorhandenem Wind wurde das Reservoir vollgepumpt, sodass das Wasser auch in windstillen Phasen reguliert zu nutzen war.

selt wurde auf Vorrat, wenn der Wind wehte, weiterverarbeitet wurde bei Windstille (Stertz 1912, S. 96 f.). Lokale Anpassungen an bestehende Windverhältnisse und Anwendungstraditionen schlugen sich um 1900 in einer facettenreichen Auswahl an Windkraftanlagen nieder. Ein immer wieder monierter Nachteil, die Abhängigkeit der Energiebereitstellung von dem spezifischen Standort, konnte technisch nicht gelöst werden, ermöglichte in den abgelegenen Regionen aber eine von den Infrastrukturen der Elektrizitätswirtschaft weitgehend unabhängige Energieversorgung, die Entwicklung angepasster Suffizienzstrategien und die Weitergabe des dafür relevanten Energiewissens.

Die geografische Nähe der Energieproduktion zur Energienutzung generierte eine Flexibilität, die nicht in industriellen Maßstäben zu messen war, sondern ihre Wirkung in Anpassung an die Umweltbedingungen vor Ort in den lokalen Arbeitsabläufen entfaltete. Kommunen, Landwirt:innen und Winzer:innen entwarfen



ihre Arbeitsprozesse entsprechend örtlicher Verfügbarkeiten. Den beschriebenen Praktiken waren das Energiesparen und die bedarfsgerechte Anpassung an örtliche Einflussfaktoren immanent.

### Wasserkraft

Im Laufe der Frühen Neuzeit siedelten sich an den Wasserläufen in den westdeutschen Mittelgebirgen, dem Bergischen Land und Sauerland, zahlreiche Kleinbetriebe der Metallindustrie an, um die Fließkraft der Gebirgsbäche für die Fertigung von Eisenwaren zu nutzen (Zumbärgel 2018). Die Wasserkräfte stellten zwar eine günstige, aber über das Jahr unregelmäßige Antriebsenergie zur Verfügung, was viele Metallfabrikant:innen im 19. Jahrhundert vor die Herausforderung stellte, den wachsenden Energiebedarf allein auf Basis der örtlichen Verfügbarkeiten zu decken. Diese wechselten im jahreszeitlichen Rhythmus von Zeiten der „Wassernöte“ in heißen Sommern und eisigen Wintern bis zu einem Überangebot an Energie in regenreichen Herbstmonaten oder zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr (o. A. 1884, S. 4).

Da die Versorgung mit Steinkohle in den infrastrukturell schlecht angebotenen Mittelgebirgstälern noch nach 1900 beschwerlich war, hielten die meisten Fabrikant:innen an dem regionalen Wasserkraftpotential fest und passten ihre Betriebsabläufe an die unregelmäßigen Rhythmen der Energiebereitstellung an. Im Laufe der Jahrhunderte überformten sie die natürlichen Gewässerstrukturen mit einer raumgreifenden Wasserleit- und Speicherinfrastruktur, um das lokale Energieangebot für eine kontinuierliche Produktion verfügbar zu halten. Der Kartenausschnitt der Ennepe zeigt diese dichte Folge kleiner Wasserkraftbetriebe mit ihren wasserbaulichen Strukturen, die im Wechsel der Jahreszeiten unterschiedliche Funktionen erfüllten (Abb. 3).

Flussaufwärts der Betriebe staute ein Wehr einen Teil des Flusswassers ab, das der Mühlgraben einem Wasserreservoir zuleitete. Dieser Stauteich sammelte in der Nacht Wasser, um es zu Zeiten des Produktionsbetriebs am Tage reguliert durch die Antriebsmaschine zu leiten. Schiebartige Vorrichtungen, die sogenannten Schütze, sorgten dafür, dass das Betriebswasser nicht schwallartig, sondern gleichmäßig in die Antriebsmaschine einlief. Bei Hochwasser musste der Betreiber der Wasserkraftanlage allerdings schnell reagieren, die Schütze am Obergraben schließen und den Umlaufgraben öffnen, um überschüssige Wassermengen abzuleiten. In trockenen Sommermonaten wurde der

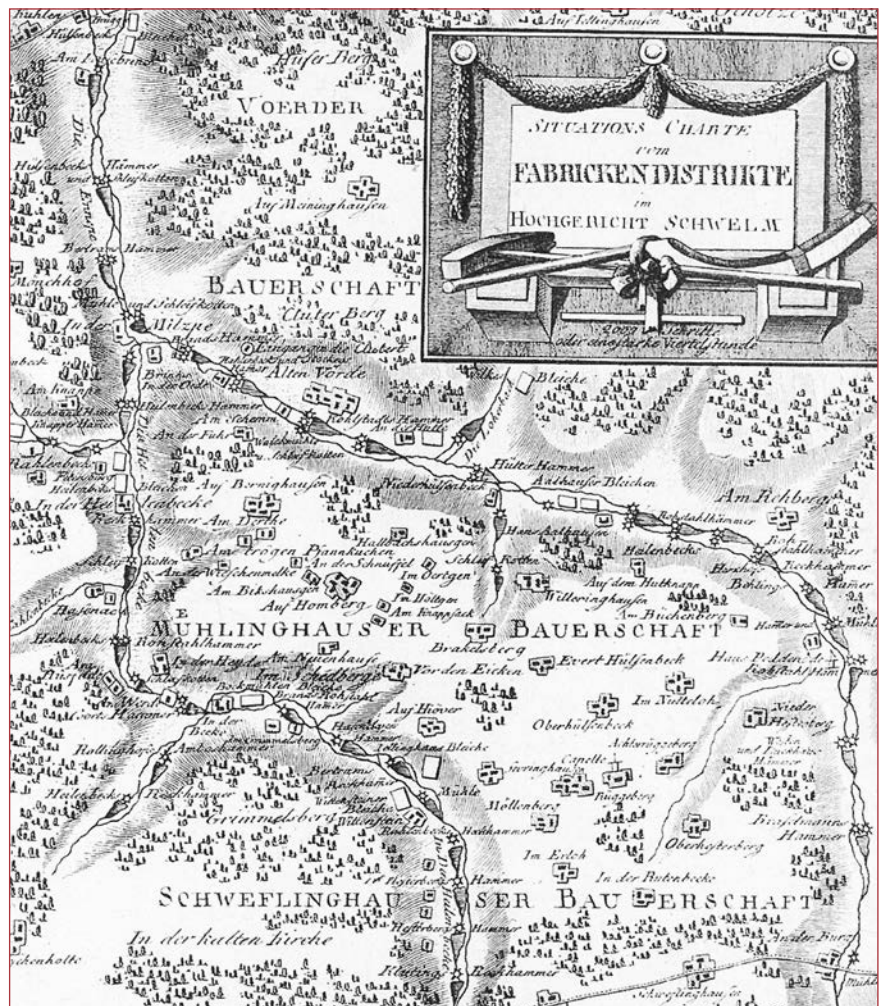


Abb. 3: Hammerwerke (sternförmige Symbole) an der Ennepe im westlichen Sauerland mit zugehörigen Stauteichen (ausgefüllte Flächen). Quelle: Müller 1788

Umlaufgraben wiederum geschlossen, um trotz Wasserknappheiten im Stauteich ausreichend Betriebswasser zurückzuhalten. An dieser Technik hielten viele Fabrikant:innen der Region fest, obwohl mit der Wasserturbine bereits eine Antriebstechnik entwickelt war, die in der Theorie leistungsfähiger war, an das Leistungsoptimum allerdings nur bei gleichmäßiger Wasserzufuhr herankam. Das Wasserrad reagierte hingegen flexibel auf die charakteristischen Wasserstandsschwankungen. Wenn eine Turbine bei Hoch- und Niedrigpegel direkt ausfiel, konnte das alte Wasserrad immer noch eine langsame, aber dafür „gleichförmige“ Antriebsbewegung „mit derselben Geschwindigkeit“ erreichen, die in vielen Kleinbetrieben ausreichte, um die Produktion kontinuierlich am Laufen zu halten (Müller 1899, S. 5).

Die meisten Stauteiche waren als Tagesspeicher konzipiert, die weder die in regenreichen Jahreszeiten anfallenden Wasserüberschüsse bevorrateten konnten noch in längeren Trockenphasen ausreichend Wasser speicherten. Deshalb hatten die Wasserkraftbetreiber:innen in den westdeutschen Mittelgebirgen mit

der Zeit Strategien entwickelt, um ihre Betriebsabläufe an die wechselhaften Verfügbarkeiten von Antriebsenergie anzupassen. So bestanden an den energetisch intensiv genutzten Nebenflüssen zwischen Ober- und Unterliegern rigide Absprachen, um das Betriebswasser im Tagesverlauf gleichmäßig zu verteilen. Manch ein Fabrikant widmete sich in der trockenen Sommerzeit im Nebengewerbe der Landwirtschaft oder Fischerei; andere nahmen an ihrer Wasserkraftanlage notwendige Wartungs- und Reparaturarbeiten vor, um Maschinen und Wasserbauten auf die „rauhe Jahreszeit“ vorzubereiten (o. A. 1899, S.92); viele Fabrikant:innen verarbeiteten aber auch Halbfabrikate, die sie in Phasen des kontinuierlichen Wasserzuflusses auf Vorrat produziert hatten, zu Spezialwaren weiter.

Energiegeschichte aufzeigen und Orientierungswissen anbieten, um das Nachdenken über die großen gesellschaftlichen Herausforderungen der Gegenwart zu inspirieren und den Horizont aktueller Energiegedebatten auszuweiten.

Wie in diesem Beitrag zu zeigen war, haben historische Suffizienzpraktiken, verstanden als bedarfs- und verfügbarkeitsorientierte Spar- und Regulierungsstrategien, in unterschiedlichen Kontexten des energiehistorischen Prozesses immer wieder Aktualisierungen erfahren, während sich die konkreten Mittel kaum veränderten. Strategien zur effizienten Nutzung oder Einsparung von Energie rückten nicht nur auf die Agenda, wenn Gesellschaften Versorgungsengpässe befürchteten. Abseits der Verkehrsknotenpunkte und Stromnetze blieben die Energiehand-

## *Über den Einsatz einer Energieform entscheiden längst nicht mehr nur Maschinenleistungen und Effizienzkriterien.*

Praktiken der Regulierung und Einsparung von Energie waren in den Mittelgebirgen eine wichtige Voraussetzung, um das im Jahresverlauf schwankende Wasserangebot effizient zu nutzen. Die kleinräumig organisierten Gewerbeaktivitäten fußen auf lokalem Energiewissen, das in Anpassung an Arbeitstraditionen und Umweltbedingungen von Generation zu Generation weitergegeben wurde. Diese bedarfsorientierten Suffizienzpraktiken trugen schließlich auch dazu bei, dass sich die ländlichen Regionen Rheinlands und Westfalens zum Übergang ins 20. Jahrhundert ohne den namhaften Einsatz von Kohle und Dampfmaschinen auf Basis der örtlichen Wasserkräfte industrialisierten.

Eine weitere Triebkraft der regionalen Industrialisierung in den Mittelgebirgstälern war um 1900 der Bau sogenannter Talsperren. Der Hauptzweck dieser großtechnischen Wasserspeicher bestand anfangs darin, die Wasserüberschüsse der Quellzuflüsse im Herbst und Frühjahr zu sammeln, um den Betrieben unterhalb der Staumauer auch in trockenen Jahreszeiten eine gleichmäßige Antriebskraft zur Verfügung zu stellen. Auf lange Sicht brach das Talsperrenwesen allerdings mit den etablierten Suffizienzstrategien, da die neuen Speichervorrichtungen die Energieproduktion von den jahreszeitlichen Rhythmen entkoppelten und dazu beitrugen, zunehmend mehr Energie zu verbrauchen.

### **Energiegeschichte als kritische Instanz**

Als Historiker:innen liegt es nicht in unserer Kompetenz, den Wandel zu einem niedrigen und ressourcenschonenden Energieverbrauchslevel mit konkreten Handlungsanweisungen zu begleiten. Wir können aber die multiplen Entwicklungswege der

lungen stärker an örtliche Einflussfaktoren gebunden. Lokale Wind- und Wasserkraftbetreiber standen vor der Herausforderung, ihre dezentralen Energiesysteme an örtliche Arbeitstraditionen und Umweltbedingungen anzupassen. Diese Erfordernisse schlugen sich nicht nur in der Dimensionierung der Antriebsmotoren nieder, sie materialisierten sich auch in neuen Speicher- und Regulierungsinfrastrukturen, mit deren Hilfe die schwankende Wind- und Wasserkraft effizient und bedarfsgerecht in alltägliche Arbeitsroutinen zu integrieren war. Eine wichtige Rolle spielten dabei tief in den regionalen Wirtschaftsformen verankerte Wissensbestände und Erfahrungswerte im Umgang mit den lokalen Energieträgern.

Der gegenwärtige Ausbau erneuerbarer Energien entwickelt sich unter ähnlichen kulturellen und natürlichen Einflüssen.

Über den Einsatz einer Energieform entscheiden längst nicht mehr nur Maschinenleistungen und Effizienzkriterien. Zufriedenstellende Antworten auf die drängenden Fragen nach ökonomischer Effizienz, gesellschaftlicher Akzeptanz und ökologischen Folgen des Energieeinsatzes müssen im Zusammenhang betrachtet werden. Entsprechende Einsichten sind wichtig, um einem in Ingenieurdebatten immer noch verbreiteten Glauben an den ‚technological fix‘ entgegenzutreten, dem die Prämisse zugrunde liegt, der Weg in nachhaltige Energiezukünfte sei allein auf Grundlage technikwissenschaftlicher Expertise zu erreichen (Moss und Weber 2021).

In den Fallbeispielen waren historische Suffizienzpraktiken vor allem dann wirksam, wenn (a) lokales Energiewissen, (b) aktive Wind- und Wasserkraftbetreiber:innen und (c) dezentrale Energieversorgungsstrukturen zusammentrafen.

(a) Mit der zentralisierten Elektrizitätswirtschaft ist viel alltägliches und lokales Energiewissen verloren gegangen oder es wird von einer kleinen Expert:innen-Gruppe gesteuert. Der his-

torische Rückblick hat auf die vielfältigen Formen lokaler und regionaler Suffizienzstrategien hingewiesen, die heute gewissermaßen zur Blackbox geworden sind. Die Fallbeispiele sensibilisieren dafür, dass das Wissen über die wechselhaften Verfügbarkeiten von Wind- und Wasserkraft für einen bedachten Umgang mit Energie von zentraler Bedeutung war und es voraussichtlich auch in Zukunft für die Umsetzung wirksamer Suffizienzstrategien sein wird. Energiewissen muss wieder stärker im Alltag verankert und auf die Vielfalt lokal variierender Einflussfaktoren (Grundrechtsfragen, Naturrisiken, Konfliktpotential etc.) abgestimmt werden. Historische Energieforschungen können diese gegenwärtige Herausforderung aus einer breiteren historischen Kontextualisierung heraus betrachten. Auch eine interdisziplinär angelegte Strategie zur Wissenschaftskommunikation in die Gesellschaft hinein kann einen Beitrag leisten, um das Bewusstsein für Energiewissen zu schärfen.

(b) Anfang der 1980er-Jahre prägte der Futurist Alvin Toffler den Begriff der ‚prosumer‘ für Personen, die nicht nur konsumieren, sondern aktiv mit einer Sache interagieren (Toffler 1980). Auch die Energiekonsument:innen in unseren Fallbeispielen nahmen ihre Energie nicht passiv entgegen. In ihren dezentralen Energiesystemen traten sie als prosumer auf, die Energie eigenständig produzierten, ihren Energiekonsum aktiv und selbstbestimmt gestalteten und sich dabei mitunter auch den Intentionen der Stromerzeuger und Gerätehersteller widersetzen; etwa wenn die Betreiber:in ihre dezentrale Wind- oder Wasserkraftanlage nicht an das Verbundnetz koppelte, weil sie eine autarke Energieversorgung anstrebte; oder wenn sie nicht die vermeintlich leistungsfähigere Antriebstechnik einbaute, weil die bestehende Antriebskraft auf die Fertigungsabläufe abgestimmt war.

Die Perspektive auf die prosumer der Vergangenheit lässt demnach Analogien zur gegenwärtigen Energiewende zu, die Bürger:innen aktiv mitgestalten. Sie bringen sich in partizipative Entscheidungsprozesse ein und werden durch den Ausbau dezentraler Energiesysteme selbst zu Energieproduzent:innen – von Einzelpersonen oder Familien mit einer Fotovoltaik-Anlage auf dem Dach bis zum friesischen Bauernhaus, dessen Vorgarten eine Biogas- oder Wasserkraftanlage ziert. Die Energiewende folgt keiner technischen Eigenlogik, sie ist sozial konstruiert.

Diese individuelle Verantwortung müssen wir als prosumer ernst nehmen, um unsere Energiezukünfte aktiv zu gestalten.

(c) Diese Verzahnung von lokalem Wissen und prosumer verweist auf die räumliche Dimension von Energiesuffizienz. Dezentrale Energiesysteme ermöglichen nicht nur eine autarke Energieversorgung, die sich dem Preisdruck großer Konzerne und der Vulnerabilität zentralisierter Netze entzog. Im Rückgriff auf lokal verfügbare Wissensbestände und Materialien ließen sich erneuerbare Energieformen auch vergleichsweise kostengünstig betreiben und waren flexibel einsetzbar, etwa wenn bei Nacht Betriebskraft auf Vorrat produziert wurde. Für die aktuellen Transformationsprozesse kann eben diese Lokalität als Chance verstanden werden, um beim Ausbau klein dimen-

sionierter Energieeinheiten den bedarfsgerechten Umgang mit lokalen Energieressourcen mitzudenken – etwa wenn sich Gemeinden zu Energiegenossenschaften zusammenschließen oder wenn beim ‚smart metering‘ mittels intelligenter Steuerungs- und Speichertechnik die Abnahme oder Einspeisung von Energie in Tageszeiten einer geringen Netzbelastung verlagert wird (Acatech 2020, S. 15).

Wenn sich Hierarchien und Maßstabebenen der Energiewirtschaft verlagern, müssen sich aber die Energiepraktiken verändern. Es gilt also, zu einer reflektierten, d. h. wissensbasierten, Produktion und Nutzung von Energie zurückzukehren. Im Sinne der Energiesuffizienz ist daran die Forderung geknüpft, vom passiven und ubiquitären Gebrauch von Energie zu einem, an lokale Verfügbarkeiten und Notwendigkeiten angepassten, Umgang mit Energie zu gelangen. Auf diesen Grundsatz verweisen die identifizierten Suffizienzpraktiken in der Geschichte des Energiesparens.

**Funding** • This work received no external funding.

**Competing interests** • The authors declare no competing interests.

## Literatur

- Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (2020): Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem. Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung. Online verfügbar unter [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2020\\_ESYS\\_Stellungnahme\\_Energiesystem.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2020_ESYS_Stellungnahme_Energiesystem.pdf), zuletzt geprüft am 04. 05. 2022.
- Dettmar, Georg (1918): Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs elektrischer Arbeit. In: *Elektrotechnische Zeitschrift* 39, S. 73–74. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-26335-8>
- Dettmar, Georg (1920): Die Beseitigung der Kohlennot. Unter besonderer Berücksichtigung der Elektrotechnik. Heidelberg: Springer.
- Gerber, Sophie (2014): Küche, Kühlschrank, Kilowatt. Zur Geschichte des privaten Energiekonsums in Deutschland 1945–1990. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.14361/transcript.9783839428672>
- Graf, Rüdiger (2014): Öl und Souveränität. Petroknowledge und Energiepolitik in den USA und Westeuropa in den 1970er Jahren. Berlin: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110348750>
- Hasenöhr, Ute; Kupper, Patrick (2022): Historicizing renewables. Issues and challenges. In: *History and Technology* 38 (1), S. 397–410. <https://doi.org/10.1080/07341512.2022.2033384>
- Hesse, Nicole (2021): Wind power and rural modernization. Wind-powered water supply systems in northern Germany and southern France, 1880–1950. In: *History and Technology* 37 (4), S. 446–467. <https://doi.org/10.1080/07341512.2022.2033388>
- Heymann, Matthias (1995): Die Geschichte der Windenergienutzung 1890–1990. Frankfurt a. M.: Campus.
- Köster, Friedrich (1946): Denkschrift. Durch Windkraft betriebene kulturtechnische Anlagen als Mittel zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion (unveröffentlichtes Schreibmaschinenmanuskript im Landwirtschaftsmuseum Meldorf, Bestand Köster). Meldorf: o. V.
- Kander, Astrid; Malanima, Paolo; Warde, Paul (2015): Power to the people. Energy in Europe over the last five centuries. Princeton: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400848881>



- Linz, Manfred (2015): Suffizienz als politische Praxis. Ein Katalog. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Online verfügbar unter <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docid/5735/file/WS49.pdf>, zuletzt geprüft am 04. 05. 2022.
- Moss, Timothy; Weber, Heike (2021): Einleitung. Technik- und Umweltgeschichte als *Usable Pasts*. Potenziale und Risiken einer angewandten Geschichtswissenschaft. In: TG Technikgeschichte 88 (4), S. 367–378. <https://doi.org/10.5771/0040-117X-2021-4-367>
- Müller, Friedrich (1788): Situations-Charte vom Fabrickendistrikte im Hochgericht Schwelm. Berlin: o. V.
- Müller, Wilhelm (1899): Die Eisernen Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Bestimmung ihres Wirkungsgrades. 1. Teil: Die Zellenräder. Leipzig: Veit & Company.
- Nägele, Edwin (1922): Die Ursachen der Kohlennot und Mittel zu ihrer Bekämpfung. Berlin: Springer.
- o. A. (1884): Verhandlungen über das Projekt der Fülbecker Teich-Anlage bei Altena. Halver: Köster.
- o. A. (1899): Eiserne Wasserräder. In: Die Mühle 32, S. 92–93.
- Radkau, Joachim (2007): Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. München: oekom.
- Radkau, Joachim (2008): Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute. Frankfurt: Campus.
- Sachs, Wolfgang (2015): Suffizienz. Umriss einer Ökonomie des Genug. In: UmweltWirtschaftsForum 23 (1–2), S. 3–9. <https://doi.org/10.1007/s00550-015-0350-y>
- Stertz, Otto (1912): Moderne Windturbinen. Leipzig: Voigt.
- Turnbull, Thomas (2020): Towards histories of saving energy. Erich Walter Zimmermann and the struggle against „one-sided materialistic determinism“. In: Journal of Energy History 3 (4), 23 S. Online verfügbar unter <https://energyhistory.eu/en/node/191>, zuletzt geprüft am 20. 05. 2022.
- Toffler, Alvin (1980): The third wave. New York: William Morrow.
- Wellum, Caleb (2020): A vibrant national preoccupation. Embracing an energy conservation ethic in the 1970s. In: Environmental History 25 (3), S. 85–109. <https://doi.org/10.1093/envhis/emz079>

- Wuttke, Ingo (2018): Kohle und Krieg. In: Franz-Josef Brüggemeier et al. (Hrsg.): Das Zeitalter der Kohle. Eine europäische Geschichte. Essen: Klartext Verlag, S. 199–207.
- Wölfel, Sylvia (2016): Weiße Ware zwischen Ökologie und Ökonomie. Umweltfreundliche Produktentwicklung für den Haushalt in der Bundesrepublik Deutschland und der DDR. München: oekom.
- Zumbrägel, Christian (2018): „Viele Wenige machen ein Viel“. Eine Technik- und Umweltgeschichte der Kleinwasserkraft (1880–1930). Paderborn: Schöningh. <https://doi.org/10.30965/9783657787463>



### NICOLE HESSE

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Technikzukunft am Karlsruher Institut für Technologie. In ihrem Promotionsprojekt befasst sie sich mit der Windenergienutzung als soziotechnische Praxis und forscht damit an der Schnittstelle von Energie-, Technik- und Umweltgeschichte.



### DR. CHRISTIAN ZUMBRÄGEL

ist Technik- und Umwelthistoriker im Fachgebiet Technikgeschichte der TU Berlin. Er promovierte 2018 mit einer Arbeit zur Geschichte der erneuerbaren Energien im 19. und 20. Jahrhundert. Er forscht zu Themen der Energie-, Fischerei- und Ressourcengeschichte.