

Bericht

Horw, 7. August 2023

White Paper Energiekoordination

Netto-Null: Handlungsfelder aus Sicht der Energieforschung der HSLU



Impressum

Auftraggeber

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Verfasser

Dr. Francesca Paoletti

Verteiler

Energy Board der HSLU T&A:
Prof. Dr. Andrea Weber-Hansen
Prof. Dr. Antonis Papaemmanouil
Prof. Dr. Christoph Imboden
Prof. Dr. Jörg Worlitschek

Dateiname

White Paper Energieforschung v1_2.docx

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Status	Änderungen und Bemerkungen	Bearbeitet von
Nr. 0.1	13.07.2023	Entwurf	Erste Fassung für das Energy Board	Francesca Paoletti
Nr. 1.0	26.07.2023	Entwurf	Feedbacks vom Energy Board eingearbeitet	Francesca Paoletti
Nr. 1.2	07.08.2023	Finaler Entwurf	Feedback von CC BE eingearbeitet, Quellen für Abbildungen und Fotografien geprüft und eingetragen	Francesca Paoletti

Quelle Titelbild: 123rf.com, 176855355, everythingpossible

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
1. Ausgangslage: die Klimastrategie des Bundes	5
2. Die fünf Handlungsfelder der HSLU auf dem Weg zu Netto-Null.....	7
3. Visualisierung der Energiewende: das Potenzial der Energiewende erleben	8
4. «House of Energy» als Sinnbild für die Dezentralisierung der Energiewende	9
5. Wärmespeicher: ein entscheidender Baustein im zukünftigen Energiesystem	11
6. Negative Emissionstechnologien (NET): CO2 aus der Atmosphäre entfernen.....	12
7. Gesamtheitliche Lösungen für eine lebenswerte Zukunft	14
8. Schlusswort.....	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Netto-Null-Ziel der Klimastrategie 2050 (Quelle: Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change)..... 5

Abb. 2: Sektorenziele der Klimastrategie 2050 (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 6

Abb. 3: Die fünf Handlungsfelder der HSLU für Netto-Null (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 7

Abb. 4: Die Netto-Null Themenlandschaft der HSLU (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)..... 8

Abb. 5: Das Projekt VisEnergy bei der Eröffnung der Ausstellung «Experience Energy!» im Verkehrshaus der Schweiz (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 9

Abb. 6: Der Bausatz «House of Energy» (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 9

Abb. 7: Schülerinnen und Schüler bei der Eröffnung der Ausstellung «Experience Energy!» im Verkehrshaus der Schweiz (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 10

Abb. 8: Digitalisierung und Dezentralisierung der Energiesystems im Kontext der Energiewende (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 10

Abb. 9: Thermische Energiespeicher im System (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 11

Abb. 10: Thermische Energiespeicher der Cowa Thermal Solutions AG (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 12

Abb. 11: Negative Emissionstechnologien zur Trennung von CO2 aus der Atmosphäre (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 13

Abb. 12: Photobioreaktoren zur Kultivierung von Mikroalgen zur biologischen CO2-Bindung (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 13

Abb. 13: Klärschlammverbrennung Werdhölzli (Quelle: KSV Werdhölzli: Jahresbericht 2019)..... 14

Abb. 14: REINVENT-Pfad «Neuschrott» - Optimierter Weg vom Produktionsbetrieb ins Stahlwerk (Quelle: HSLU Hochschule Luzern) 15

Abb. 15: Beispiele von Kleinwohnformen (Quellen: Annett Landsmann, zurwolke e.V., und Bauart Architekten und Planer AG) 15

Abb. 16: Kann es auch später aufgeladen werden? – Flexibilität soll sich hier in Zukunft lohnen. (Quelle: CKW)..... 16

1. Ausgangslage: die Klimastrategie des Bundes

Das Klima verändert sich. Das sagt nicht nur die Wissenschaft. Es ist eine auch in der Schweiz schon heute erlebbare Tatsache, die uns vor grosse Herausforderungen stellt. Gletscher schmelzen, Arten sterben aus und Wetterextreme häufen sich. Heftige Niederschläge führen zu Überschwemmungen, lange Hitzewellen zu Dürren, was unter anderem den Tourismus und die Nahrungsmittelproduktion auch in der Schweiz schon heute an ihre Grenzen führt.

Das Übereinkommen von Paris, das von der Schweiz und weiteren 194 Staaten unterzeichnet wurde, sowie die Energiestrategie 2050 des Bundes sind dem Ziel der Klimaneutralität verpflichtet. Bis zum Jahr 2050 soll die Schweiz unter dem Strich keine Treibhausgasemissionen mehr ausstossen. Die globale Durchschnittstemperatur soll so auf unter zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden, womit sich die Risiken und existenzbedrohenden Auswirkungen des Klimawandels auf ein annehmbares Niveau reduzieren lassen.

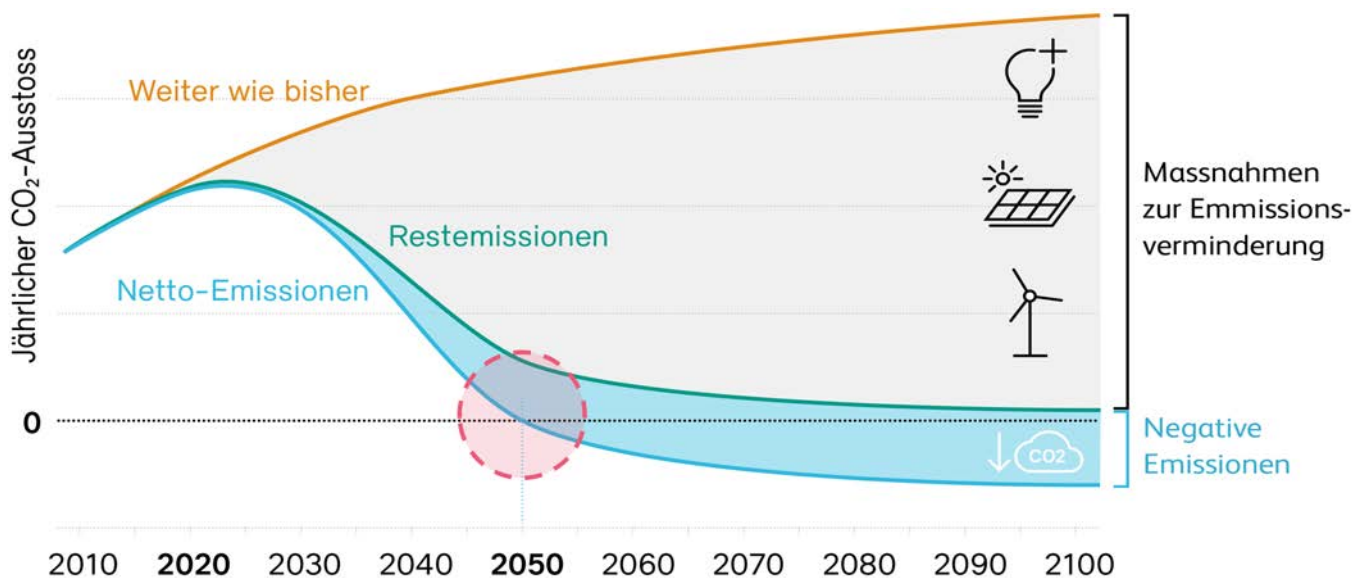


Abb. 1: Das Netto-Null-Ziel der Klimastrategie 2050
(Quelle: Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change)

Zum Erreichen einer langfristigen, vollständigen Klimaneutralität ist Netto-Null 2050 dabei lediglich ein Zwischenziel (Abb. 1): für das Erreichen von Netto-Null müssen die vermeidbaren Emissionen beseitigt und schwer vermeidbare Emissionen mit Negativemissionstechnologien (NET), die dauerhaft CO₂ aus der Luft entfernen, ausgeglichen werden.

Um das Netto-Null Ziel zu erreichen, legt die Klimastrategie des Bundes für jeden Wirtschaftssektor Zielsetzungen bis zum Jahr 2050 fest (Abb. 2):

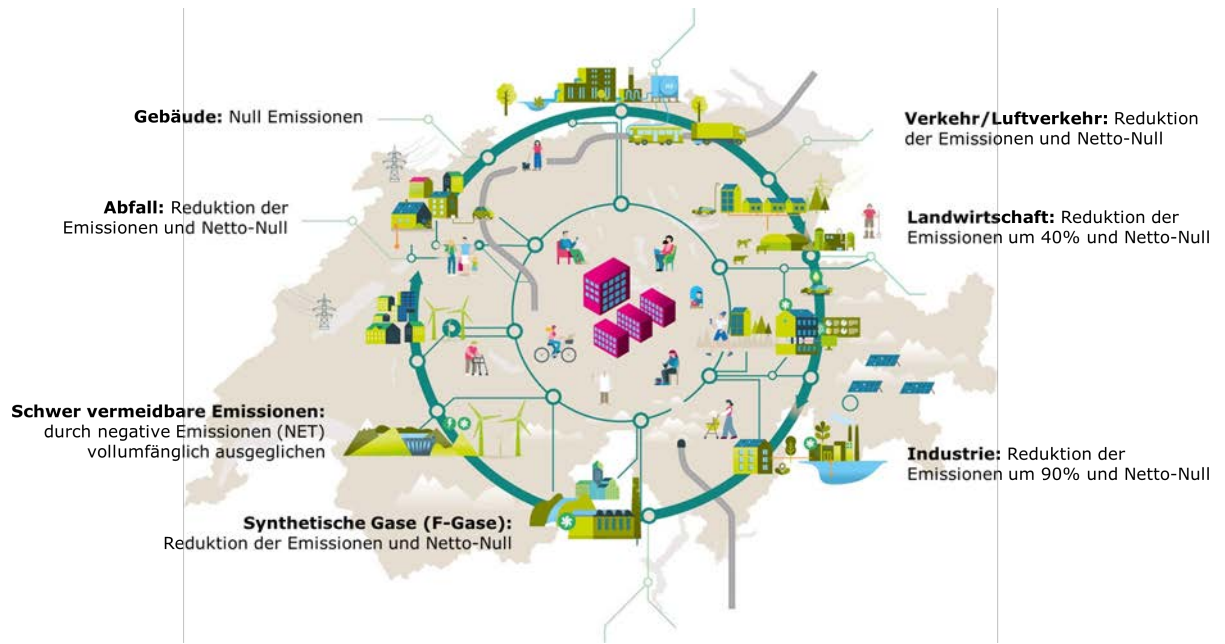


Abb. 2: Sektorenziele der Klimastrategie 2050 (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

- Gebäudepark: keine Treibhausgasemissionen.
- Industriesektor Emissionen um mindestens 90% (gegen 1990) reduziert.
- Landverkehr mit wenigen Ausnahmen keine Treibhausgasemissionen mehr.
- Internationale Luftverkehr: Netto-Null und Emissionsausgleich
- Landwirtschaft:
 - o Produktion im Inland: Emissionen um min. 40% (gg. 1990) reduziert.
 - o Inlandproduktion beträgt min. 50% der Versorgung.
- Abfallsektor:
 - o Thermische Abfallbehandlung: wie Industriesektor
 - o Restliche Abfallbehandlung (Deponien und Abwasserreinigung): Netto-Null
- Synthetischen Gase (F-Gase): Emissionen absenken
- Restliche, schwer vermeidbare Treibhausgasemissionen der Schweiz werden mit negativen Emissionen vollständig ausgeglichen.

2. Die fünf Handlungsfelder der HSLU auf dem Weg zu Netto-Null

Die fünf Handlungsfelder der HSLU stehen im Einklang mit den Zielen der Klimastrategie des Bundes (Abb. 3):

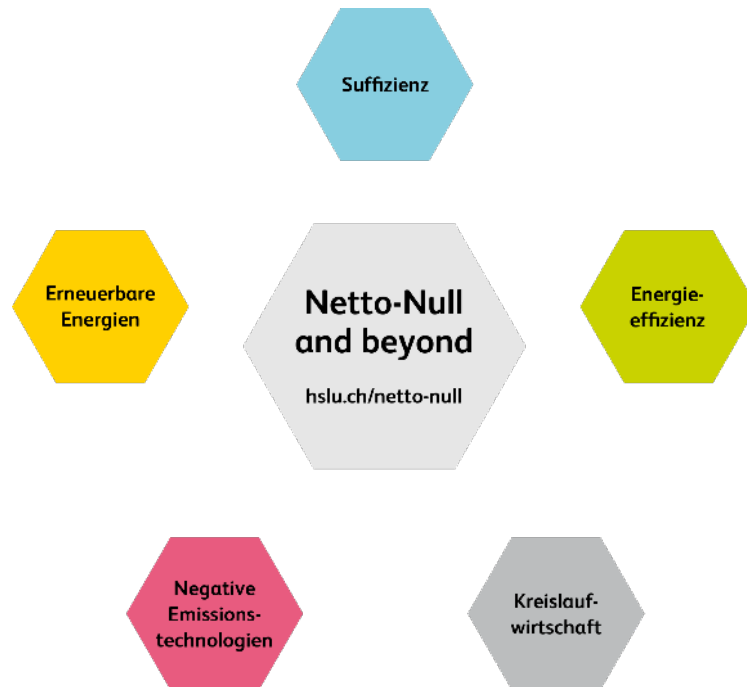


Abb. 3: Die fünf Handlungsfelder der HSLU für Netto-Null (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

1. **Erneuerbare Energien:** Optimierung des Eigenverbrauchs von Solaranlagen, Integration der Elektromobilität im Stromnetz, Digitale Energiesysteme und Datenvisualisierung, lokale Energiemärkte und Thermische Energiespeicher.
2. **Negative Emissionstechnologien:** Abscheidung von Speicherung von CO₂, CO₂-Gewinnung aus der Luft, Biologische Kohlenstoffbindung (Mikroalgen).
3. **Energieeffizienz:** Intelligente Energiemanagementsysteme, Laststeuerung, Sensorik für vorausschauende Anlagenwartung, Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe, Klimamodellierung im Quartier.
4. **Kreislaufwirtschaft:** Optimiertes Stahlrecycling, Kreislaufwirtschaft in der Düngeproduktion, Circular Economy, Ecodesign, Life-Cycle-Assessments (LCA).
5. **Suffizienz:** Nachhaltige Stadtentwicklung, Kleinwohnformen, Shared Living.

Diese fünf Handlungsfelder dienen nicht nur der strategischen Orientierung in unserer Forschungsaktivität, sondern bilden die Basis für unsere Netto-Null-Landschaft: die Forschungsprojekte, die dort abgebildet sind, spiegeln unsere Verpflichtung Zielerreichung der Klimaneutralität (Abb. 4).

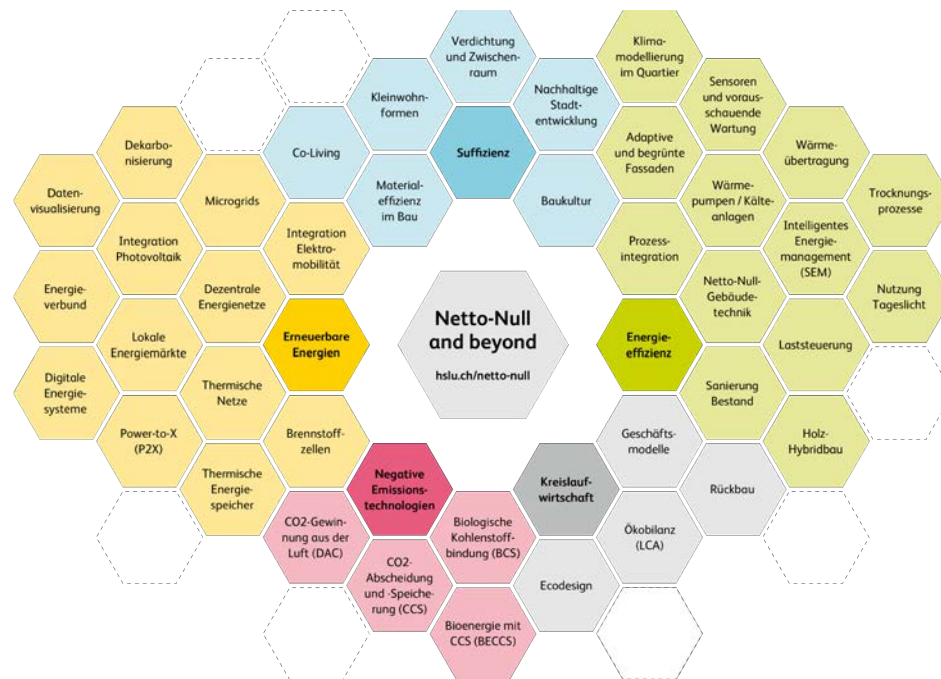


Abb. 4: Die Netto-Null Themenlandschaft der HSLU (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

3. Visualisierung der Energiewende: das Potenzial der Energiewende erleben

Mit dem Projekt «Visualisierung der Energiewende» wird das Potenzial der Visualisierung von Daten, in erster Linie mittels «interaktiver Datentische», für die Unterstützung der Energiewende in Gemeinden und Kantonen ausgelotet. Ziel ist es, eine interaktive, für verschiedene Fragestellungen nutzbare, leicht verständliche Visualisierung des Energiesystems zu realisieren. Diese Visualisierung wird in erster Linie auf Datentischen (*RegionScope* des Smart Region Lab der Hochschule Luzern) umgesetzt, welche die Möglichkeit taktiler, interaktiver Bedienung und der Verwendung in der Gruppe bieten.

Der aus den interaktiven Datentischen der Hochschule Luzern resultierende Mehrwert geht aus der Zusammenarbeit zwischen dem Smart Region Lab sowie den Departementen Technik & Architektur, Informatik, Soziale Arbeit und Design & Kunst hervor. Das interdisziplinäre Projektteam verknüpft auf einer soliden wissenschaftlichen Grundlage deren Expertise rund um Energiesysteme, Strom- und Wärmenetze, Informatik, Datenvisualisierung, partizipative Prozesse sowie die Entwicklung von Regionen, Kantonen, Städten, Gemeinden und Unternehmen.

Die interaktive Datentische verbinden unsere strategische Themen Klimamodellierung im Quartier, Nachhaltige Stadtentwicklung, Digitale Energiesysteme und Datenvisualisierung und tragen somit den **Handlungsfeldern Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Suffizienz** bei. In der Datenvisualisierung sind Ergebnisse eingebettet aus mehreren Projekten, welche vom Bundesamt für Energie im Rahmen des Forschungsprogramm SWEET gefördert wurden: EDGE¹, PATHFNDR², DeCarbCH³.

¹ <https://www.sweet-edge.ch/de/home>

² <https://sweet-pathfndr.ch>

³ <https://www.sweet-decarb.ch/>



Abb. 5: Das Projekt VisEnergy bei der Eröffnung der Ausstellung «Experience Energy!» im Verkehrshaus der Schweiz (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

4. «House of Energy» als Sinnbild für die Dezentralisierung der Energiewende

Der modulare Bausatz «House of Energy» (Abb. 6 und 7) der HSLU ist eine Hommage an den neuen Pavillon im Verkehrshaus der Schweiz und wurde vom Kompetenzzentrum Digital Energy and Electric Power (CC DEEP) speziell für die Eröffnung der Ausstellung «Experience Energy!» im April 2023 entwickelt. Er vermittelt die Zusammenhänge der dezentralen Energieproduktion, des Eigenverbrauchs im Gebäude und der E-Mobilität; zugleich ermöglicht es Schülerinnen und Schüler auf spielerische Weise mehr über die Energiewende zu erfahren.

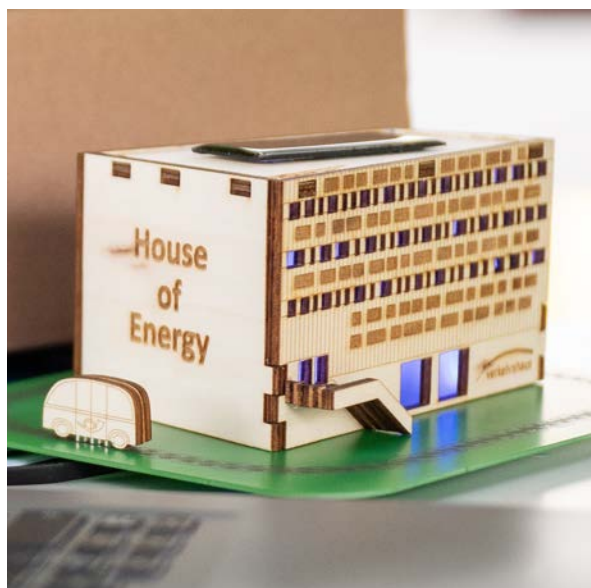


Abb. 6: Der Bausatz «House of Energy» (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)



Abb. 7: Schülerinnen und Schüler bei der Eröffnung der Ausstellung «Experience Energy!» im Verkehrshaus der Schweiz (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Das «House of Energy» ist gleichzeitig auch ein Sinnbild für die Digitalisierung und Dezentralisierung des Energiesystems im Kontext der Energiewende: der Einsatz innovativer IT-Technologien ermöglicht den Einsatz von Flexibilitätslösungen, so dass der grüne Strom idealerweise dann und dort verbraucht wird, wo er erzeugt wurde – direkt im Gebäude (Abb. 8).

So wird der Netzausbau minimiert und die Netzgebühren gesenkt, die Versorgung an neue, veränderte Verbrauchsmuster angepasst. Nicht zuletzt ermöglichen innovative, KI-basierte IT-Technologien auch eine Senkung der Instandhaltungskosten durch Predictive Maintenance. Die Energiewende wird somit nicht nur dezentralisiert und dekarbonisiert, sondern auch digitalisiert sein.

Im «House of Energy» spiegeln sich unsere strategische Themenfelder Integration der Elektromobilität, Microgrids, lokale Energiemärkte, integriertes Energiemanagement, Laststeuerung und Netto-Null-Gebäudetechnik und somit wird den **Handlungsfeldern Erneuerbare Energien und Energieeffizienz** Rechnung getragen.



Abb. 8: Digitalisierung und Dezentralisierung der Energiesystems im Kontext der Energiewende (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

5. Wärmespeicher: ein entscheidender Baustein im zukünftigen Energiesystem

Zu viel Strom im Sommer, zu wenig im Winter: das ist eines der Probleme der Energiewende. Fünfzig Prozent des Primärenergiebedarfs der Schweiz wird für die Wärme- und Kälteversorgung verwendet. Thermische Speichertechnologien (Abb. 9) sind daher ein Schlüsselement für eine resiliente und kosteneffiziente Energieversorgung der Schweiz im Winter, wenn in Zukunft keine fossilen Energieträger zum Heizen mehr eingesetzt werden: sie sind unverzichtbar für das Ziel «Null Emissionen im Gebäudesektor bis 2050».

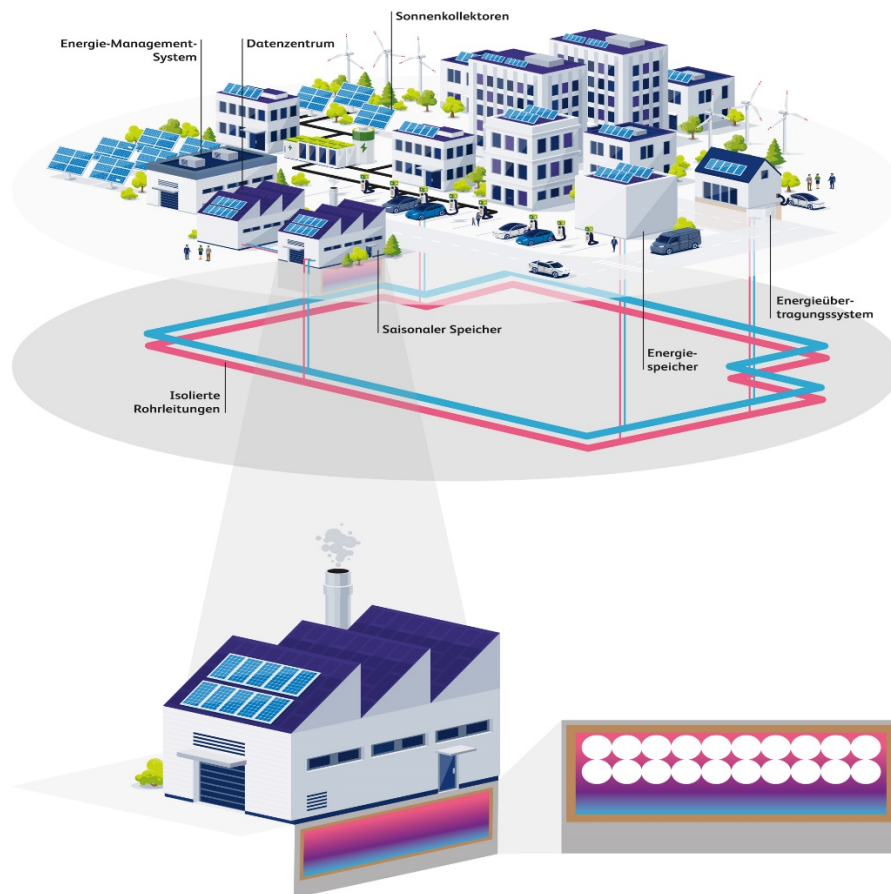


Abb. 9: Thermische Energiespeicher im System (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Im Kompetenzzentrum Thermische Energiespeicher (CC TES) werden kompakte, effiziente und kostengünstige Speicherlösungen entwickelt, die den Bedürfnissen von Energieversorgern, der Industrie sowie von Privaten optimal entsprechen. Das zeigt sich im Ergebnis etwa in der Reduktion des Platzbedarfs für Warmwasserspeicher, in mehr Energieeffizienz, einer Reduktion der Betriebskosten oder der Schaffung von zeitlicher und saisonaler Unabhängigkeit von externen Energieversorgern.

Unser Spin-Off Cowa Thermal Solutions ⁴ hat eine neue Generation thermischer Speicherlösungen entwickelt, welche sich für die Nutzung in Kombination mit einem PV-Wärmepumpensystem besonders eignen. Das Funktionsprinzip der cowa-Kapseln (Abb. 10) basiert auf der Technologie der Phasenwechselmaterialien (PCM): während dem Schmelzvorgang wird Wärme aufgenommen, im flüssigen Zustand gespeichert und während dem Erstarren wieder abgegeben.

⁴ <https://cowa-ts.com/>

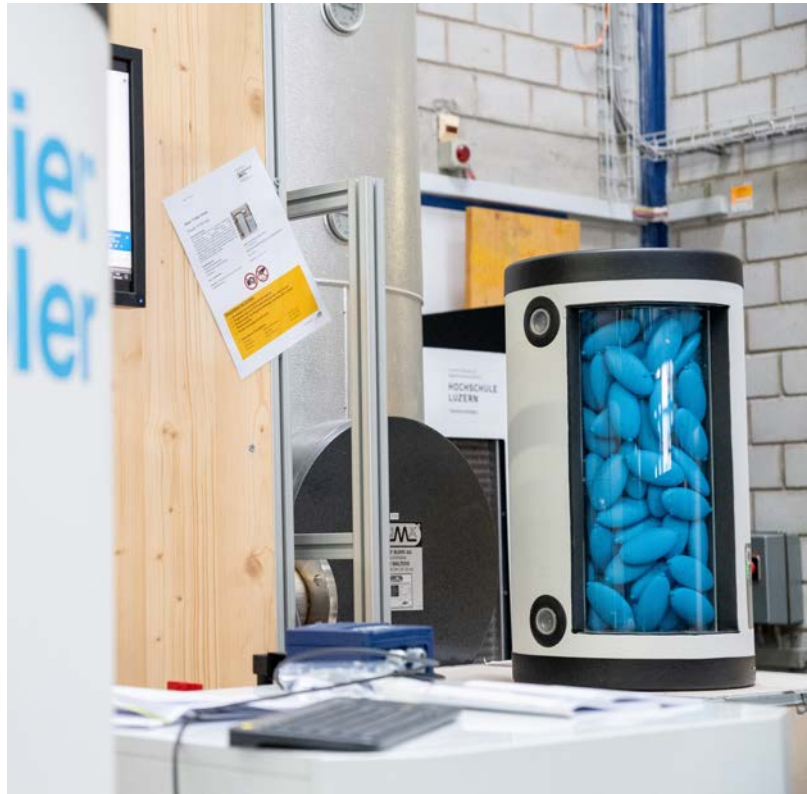


Abb. 10: Thermische Energiespeicher der Cowa Thermal Solutions AG (Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Das von Cowa entwickelte Phasenwechselmaterial wird in etwa vier bis zehn Zentimeter grosse Kapseln abgefüllt: die Kapseln speichern Wärme um bis zu vier Mal besser als Wasser, das bisher zu diesem Zweck gebraucht wird und eignen sich auch für das Retrofit bestehender Speicherbehälter. Somit wird der Energieverbrauch im Gebäude optimiert und gleichzeitig die Unabhängigkeit vom Stromnetz gestärkt.

Thermische Energiespeicher leisten einen Beitrag zur Nachhaltiger Stadtentwicklung, zu Netto-Null-Gebäudetechnik, zur Wärmeübertragung durch intelligentes Energiemanagement, zu dezentralen Energienetzen, Energieverbünde und zur Dekarbonisierung im Gebäude. Somit stehen sie im Zentrum unserer **Handlungsfelder Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Suffizienz**.

6. Negative Emissionstechnologien (NET): CO₂ aus der Atmosphäre entfernen

Um dem anthropogenen Klimawandel entgegenzuwirken, müssen neben der Reduktion weiterer CO₂-Emissionen weltweit in grossem Umfang sogenannte Negative Emission Technologies (NET) eingesetzt werden. Das Netto-Null Ziel für 2050 ist nur erreichbar durch die Anwendung dieser Technologien zur dauerhaften Entfernung von CO₂ aus der Luft. Somit wird die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre reduziert und damit die negativen Folgen des Klimawandels abgeschwächt. Die Funktionsweise der negativen Emissionstechnologien ist schematisch in Abb. 11 dargestellt.

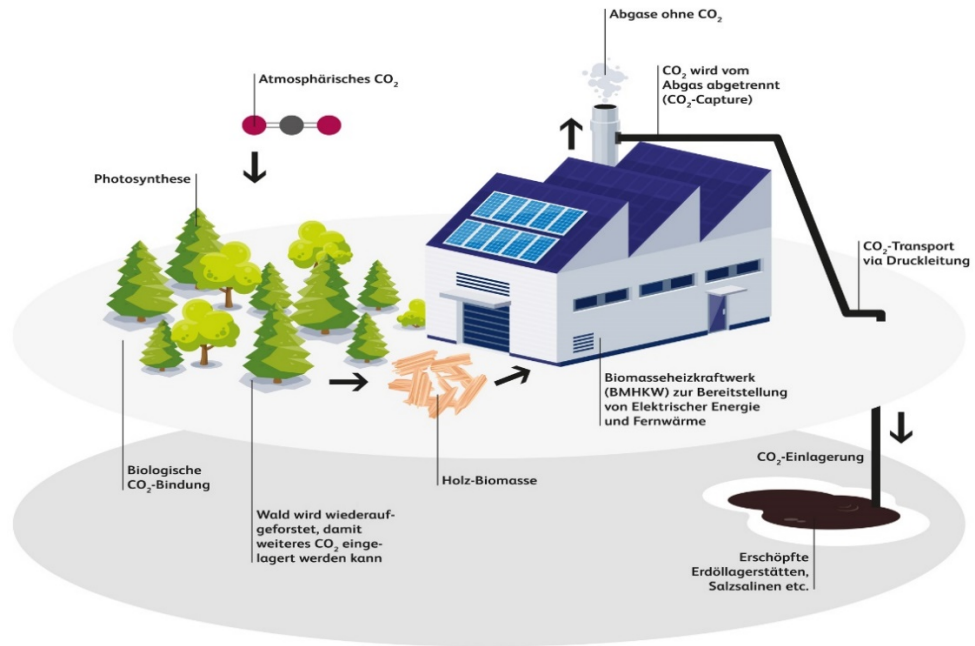


Abb. 11: Negative Emissionstechnologien zur Trennung von CO₂ aus der Atmosphäre
(Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Das Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik (CC TEVT) untersucht den Prozess der Mikroalgenkultivierung in Photobioreaktoren zur Bindung von CO₂ aus der Atmosphäre in Biomasse: es gibt keine Möglichkeit, Biomasse so energie- und volumeneffizient zu erzeugen wie durch die Produktion von Mikroalgen in warmem Wasser, deren Wachstumsraten bis zu 50-mal höher sind als die von schnell wachsenden Pflanzen an Land.

Das Verfahren wurde theoretisch evaluiert und es wurden zahlreiche praktische Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes wird mithilfe von zehn kleinen Laborreaktoren (je 12 Liter) das Algenwachstum in Dauerversuchen unter verschiedenen Betriebsbedingungen untersucht.



Abb. 12: Photobioreaktoren zur Kultivierung von Mikroalgen zur biologischen CO₂-Bindung
(Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Negative Emissionstechnologien werden aber auch in industriellen Prozessen zur Abtrennung und Speicherung von CO₂ aus Punktquellen eingesetzt (CCS, Carbon Capture and Storage). Beispiele von der Anwendung von CCS-Technologien in Industrieprozessen sind die Kehrichtverbrennungsanlage in Linth und die Klärschlammverbrennung Werdhölzli. Beide Anlagen wurden im Rahmen des Projektes Process Integrated Carbon Capture – Design and Evaluation (PICC) vom Bundesamt für Energie gefördert.



Abb. 13: Klärschlammverbrennung Werdhölzli (Quelle: KSV Werdhölzli: Jahresbericht 2019)

Die Forschungsschwerpunkte des Kompetenzzentrums Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik liegen vollständig im **Handlungsfeld Negative Emissionstechnologien** und spiegeln sich in den strategischen Themenfelder CO₂-Gewinnung aus der Luft, CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS), Biologische Kohlenstoffbindung sowie Bioenergie mit CCS.

7. Gesamtheitliche Lösungen für eine lebenswerte Zukunft

Menschen und Unternehmen nachhaltig auf dem Weg zu einer Netto-Null-Gesellschaft zu begleiten, erfordert eine Kombination aus technischem und wissenschaftlichem Verständnis, betriebswirtschaftlicher Expertise, Innovation und sozialwissenschaftlicher Kompetenz.

Das Kompetenzzentrum Business Engineering entwickelt gesamtheitliche Lösungen für die Energiewende und die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Somit werden hier alle fünf Netto-Null-Handlungsfelder der HSLU (Abb. 3) miteinander verbunden.

Als Beitrag zum **Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft**, entwickelt das Projekt REINVENT (Abb. 14) digitale Lösungen, um innovative Geschäftsmodelle im Recycling von Stahlschrott zu ermöglichen, die operativen Kosten zu senken und die Qualität des Recyclingproduktes zu erhöhen. Dabei wird mittels eines neu konzipierten *Product Service System* und einem eigens entwickelten Datenmodells für Neuschrott ein durchgängiger Informationsfluss über das Material, sowie eine effiziente Direktanlieferung an das Stahlwerk ermöglicht. Somit kann ein höherwertiges Recycling mit weniger Aufwand entlang der Wertschöpfungskette implementiert werden.

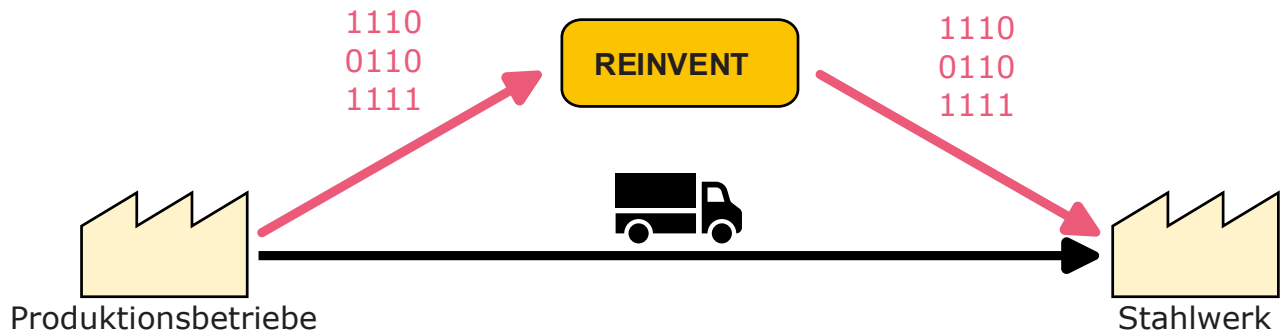


Abb. 14: REINVENT-Pfad «Neuschrott» - Optimierter Weg vom Produktionsbetrieb ins Stahlwerk
(Quelle: HSLU Hochschule Luzern)

Im Bereich des **Handlungsfeldes Suffizienz** werden im CC Business Engineering verschiedene Kleinwohnformen untersucht, verglichen und ökologisch bilanziert. Das interdisziplinäre Projekt «Kleinwohnformen - Wohn- und Lebensraum mit Potenzial?» untersucht das Potenzial von Kleinwohnformen insbesondere unter Betrachtung der Nutzerbedürfnisse, unterschiedlicher architektonischer Typologien und dem Fokus auf sozialwissenschaftliche, architekturräumliche, baurechtliche, ökonomische und ökologische Faktoren. Die Ergebnisse werden in soziodemografischen Profilen der Nachfrage- und Nutzersegmente sowie als praxisorientierte Planungs- und Handlungsempfehlungen anwendbar gemacht.



Abb. 15: Beispiele von Kleinwohnformen
(Quellen: Annett Landsmann, zurwolke e.V., und Bauart Architekten und Planer AG)

In den **Handlungsfeldern Erneuerbare Energie und Energieeffizienz** leistet das europäische Horizon-Projekt ENFLATE (Abb. 16) einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Netto-Null Ziele. Die Verbreitung von flexiblen Lasten wie Wärmepumpen oder Elektromobilität soll bekanntlich in naher Zukunft massiv ansteigen, während gleichzeitig deutlich mehr Solarenergie ins bestehende Verteilnetz zu integrieren ist. Projektziel von ENFLATE ist es, die Kosten der Energiewende im Rahmen zu halten. Dafür wird gemeinsam mit Industriepartnern eine integrierte Handels- und Koordinationsplattform für elektrische Flexibilität entwickelt. Dezentrale Lastflexibilität wird im ENFLATE Pilotprojekt eingesetzt um (1.) das lokale Verteilnetz vor Überlastungen zu schützen, (2.) das Übertragungsnetz mittels Regelleistung zu stabilisieren, und (3.) die Bilanzgruppen vor hohen Ausgleichsenergiekosten zu schützen.

Das Projekt untersucht zudem auch soziale Faktoren wie beispielsweise das ideale Vergütungssystem gegenüber den Endkunden oder die kritischen Erfolgsfaktoren für eine hohe Beteiligungsquote. Hierfür wird im Kanton St. Gallen ein Living Lab aufgebaut mit ein paar Hundert Haushalten.



*Abb. 16: Kann es auch später aufgeladen werden? – Flexibilität soll sich hier in Zukunft lohnen.
(Quelle: CKW)*

8. Schlusswort

An der Hochschule Luzern – Technik & Architektur engagieren sich Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Disziplinen in Lehre, Forschung und Entwicklung. Sie sind davon überzeugt, dass sich die Herausforderungen, die der Klimawandel mit sich bringt, gemeinsam meistern lassen. Auf einer soliden wissenschaftlichen Grundlage bilden sie zukünftige Expertinnen und Experten aus und arbeiten an ökologisch und ökonomisch tragfähigen Lösungen, die das Gleichgewicht des Ökosystems langfristig sicherstellen.

Sie leisten ihren Beitrag dazu, dass auf dem Weg der Energiewende das erklärte Ziel von Netto-Null erreicht werden kann.