

Fachinformation. Um dem heutigen Nachhaltigkeitsverständnis und den UN-Nachhaltigkeitszielen gerecht zu werden, müssen Ansätze der Kreislaufwirtschaft Kernkonzept des nachhaltigen Bauens sein.

Systemische Betrachtung

Gebäude zu bauen, ist mit einem grossen ökologischen Fussabdruck und Ressourcenverbrauch verbunden. In einem typischen Wohngebäude stecken mehrere 100 Tonnen Material, der Gebäudebestand der Schweiz wiegt gemäss einer Studie der Empa rund 1600 Mio. Tonnen. Die Rohstoffe müssen abgebaut, zu Produkten verarbeitet und transportiert werden. Beim Rückbau gehen Ressourcen verloren, etwa wenn Bauteile verbrannt oder deponiert werden. Deponieräume werden jedoch knapp. Recycling schliesst zwar den Stoffkreislauf, benötigt aber oft viel Energie. Für einen nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen müssen wir umdenken: weniger Ersatzneubauten, mehr am Bestand weiterbauen und zirkulär wiederverwendete Bauteile einsetzen. Gebäude sind Systeme und müssen systemisch, das heisst aus verschiedenen Pers-

pektiven betrachtet und geplant werden. Dabei gilt es, die Zielkonflikte zwischen Ressourcenverbrauch (Material), Umweltauswirkungen, Energie- und Flächenverbrauch sowie die Nutzeransprüche zu adressieren. Ansätze der Kreislaufwirtschaft, insbesondere zirkuläre Geschäftsmodelle (siehe Seite 17), bieten Anregungen, um systemisches Denken, Innovation und Zusammenarbeit neu zu entdecken. Um dem heutigen Nachhaltigkeitsverständnis respektive den UN-Nachhaltigkeitszielen gerecht zu werden, müssen Ansätze der Kreislaufwirtschaft Kernkonzept des nachhaltigen Bauens sein. Dafür müssen auch Labels und Standards weiterentwickelt werden. Beim zirkulären wie auch beim herkömmlichen Bauen ist die Bewertung der Umweltauswirkungen beispielsweise mittels Ökobilanzen wichtig, um die erwähnten Zielkonflikte zu erkennen und zu bewerten. In den meisten Fällen ist ein Weiterbauen des Bestandes (Anbauen, Aufstocken) ökologischer als ein Ersatzneubau. Zirkuläres Bauen befreit uns aber nicht davor, unsere Ansprüche und Gewohnheiten zu hinterfragen und anzupassen – etwa bei der Frage, wie viel Wohnfläche eine Person wirklich braucht, Stichwort Suffizienz.

Vorgehen im Planungsprozess

Für den Bau von kreislauffähigen Gebäuden aus sekundären Materialien, Baustoffen oder Bauteilen muss der Planungsprozess flexibler, dynamischer und nicht strikt nach getrennten Bauphasen gestaltet werden (siehe Seite 42). Zur Orientierung wird nachfolgend auf SIA-Phasen Bezug genommen. Das neue Vorgehen fordert von den Planenden eine aktivere

Nadja Lavanga ist Umweltwissenschaftlerin ETH und seit 2013 in der Umweltberatung aktiv, aktuell bei der Intep – Integrale Planung GmbH. Fragestellungen zur Kreislaufwirtschaft sind ihr Spezialgebiet.

Il Kook Francis Nuser ist Umweltingenieur ETH in Ressourcenmanagement und seit 2021 bei der Intep – Integrale Planung GmbH tätig. Sein Spezialgebiet ist das Life Cycle Assessment.

Weiterführende Informationen

Unter folgendem Link können Sie eine Wissenssammlung zu Standards, Methoden und Werkzeugen für das zirkuläre Bauen und Renovieren herunterladen: www.intep.com/projekte/liste-zirkulaer-bauen

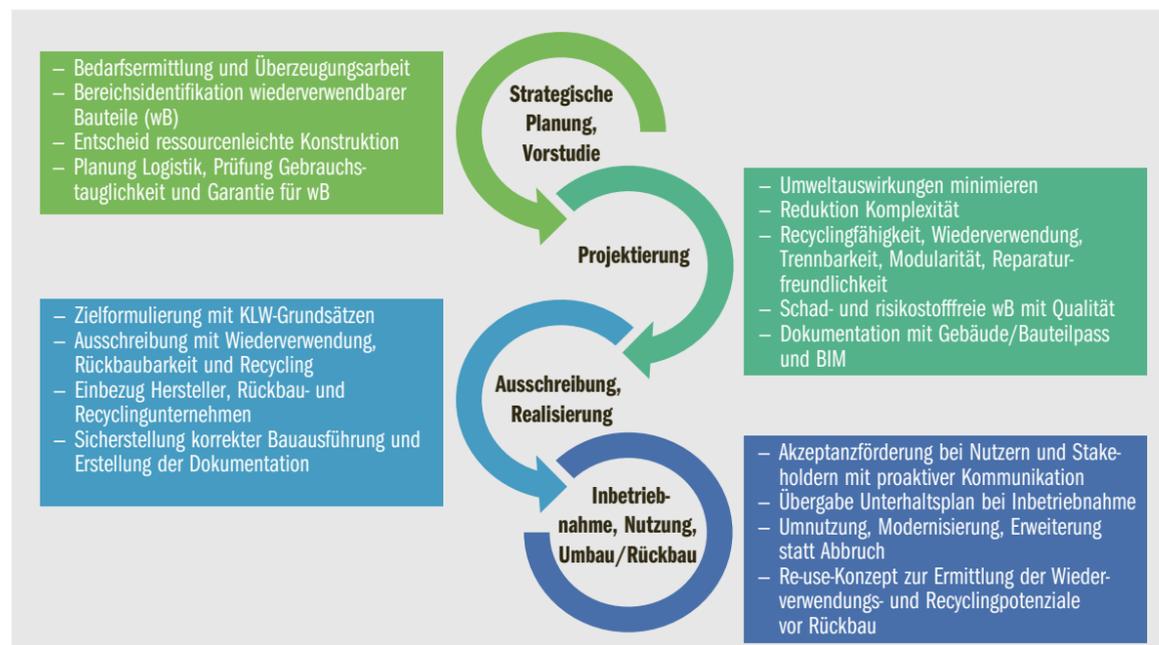
Kommunikation mit Bauherrschaften, Architekten und Bauunternehmen und insbesondere mit Baubehörden: Die strategische Planung (SIA-Phase 1) beinhaltet die Klärung von Bedürfnissen und die Entwicklung von Lösungsstrategien sowie wegweisende Designentscheide für eine ressourcenleichte Konstruktion. Darauf folgt die Suche nach sekundären Materialien und Bauteilen sowie die Prüfung nach ihrer Gebrauchstauglichkeit und Garantie (Teil SIA-Phase 4). Mit Garantien oder anderen Absicherungen wird die Akzeptanz bei Entscheidungsträgern erhöht. Erfolgsentscheidend ist auch die Logistik: die frühzeitige Klärung der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit sekundärer Bauteile zur Vermeidung von Lagerzeiten und weiten Transportdistanzen. Das Vorhaben kann nun unter Berücksichtigung von Kriterien für zirkuläres Bauen definiert und nach der Machbarkeit untersucht werden (SIA-Phase 2). Vor und nach der Einreichung des Baugesuches ist die Kommunikation mit der Baubehörde wichtig: Das etwas andere Vorgehen muss gut erklärt werden, und gemeinsam müssen neue Lösungen gefunden werden (SIA-Phase 3). Die Ausschreibung enthält Kriterien der nachhaltigen Beschaffung, etwa in Bezug auf die Wiederverwendung sekun-

därer Materialien, die Gewährleistung der Rückbaubarkeit durch zerstörungsfrei demontierbare Konstruktionsweisen und das Materialbewirtschaftungskonzept auf der Baustelle (SIA-Phase 4). Es werden gezielt Unternehmen angesprochen, die über entsprechende Kompetenzen verfügen. Zudem soll ein Dialog mit Herstellern, Rückbau- und Recyclingunternehmen stattfinden. Die Realisierung wird idealerweise mit einem Gebäude- oder Bauteilpass und mit BIM dokumentiert, um künftige Erneuerungsarbeiten und die Planung weiterer Material-Lebenszyklen zu erleichtern (SIA-Phase 5). Es ist zentral, die Akzeptanz für Gebäude aus wiederverwendeten Bauteilen bei den Nutzenden und weiteren Beteiligten zu fördern, was eine proaktive Kommunikation bei der Inbetriebnahme und Nutzung bedingt. Ein guter Unterhalt erlaubt eine lange Betriebsphase (SIA-Phase 6). Um dem Prinzip der Langlebigkeit gerecht zu werden, soll eine Modernisierung mit Aufstockung respektive ein Anbau oder eine Umnutzung einem Ersatzneubau vorgezogen werden. Bei baulichen Veränderungen unterstützt eine Vorabplanung mit einem Re-use- oder Recycling-Konzept die effiziente Ressourcennutzung des Gebäudes. ■

Kriterien, welche die Kerngedanken des zirkulären Kreislaufs in der bebauten Umwelt widerspiegeln (nicht abschliessend). (Quelle: Intep, angelehnt an Publikation «Resource-respectful construction – the case of the Urban Mining and Recycling unit (UMAR)», F. Heisel et al. 2019)

Kriterien für zirkuläre Gebäude

- 1 Ressourceneffiziente Konstruktionsweise mit minimalem Materialeinsatz
- 2 Design für Demontage in allen Massstäben
- 3 Trennung von biologischen und technischen (menschgemachten) Ressourcen
- 4 Einsatz und Garantie wiederverwendeter Bauteile oder rezyklierter und biologischer Materialien
- 5 Zirkuläre Geschäftsmodelle z. B. Produkte als Dienstleistung
- 6 Ermöglichung langer Lebensdauer und flexibler Nutzungsänderungen von Gebäuden
- 7 Miteinbezug des Kreislaufgedankens in die Umgebungs- und Betriebsplanung



Planungsprozess für zirkuläre Gebäude. (Quelle: Intep, angelehnt an die DGNB-Checkliste und an Ansätze des Baubüros in situ, Basel)

Fachinformation. Synthetische Energieträger können in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Wir zeigen, wie sie produziert werden, welche Typen es gibt und wie effizient sie sind. **Zoe Stadler**

Power-to-X in Kürze

Autorin

Zoe Stadler ist wissenschaftliche Assistentin am Institut für Energietechnik IET der OST Ostschweizer Fachhochschule. Sie arbeitet und forscht im Bereich Power-to-X und leitet die Wissensplattform «Klimacluster».

2019 hat der Bundesrat beschlossen, die Schweizer Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren. Damit dies gelingt, muss die künftige Energieversorgung auf erneuerbaren statt wie heute auf fossilen Energieträgern basieren. Insbesondere Solar- und Windkraft sollen daher stark ausgebaut werden. Allerdings produzieren diese nicht das ganze Jahr über gleich viel Strom. Es ist absehbar, dass die einheimische Stromproduktion künftig im Sommer Überschüsse produzieren wird, während im Winter bereits heute zu wenig Elektrizität zur Verfügung steht. Synthetische Energieträger können dazu beitragen, die Überschüsse zu speichern und im Winter nutzbar zu machen. Doch wie funktioniert ihre Herstellung überhaupt? Welche Produkte entstehen daraus? Welche Wirkungsgrade erreichen diese Energieträger?

Strom und Wasser

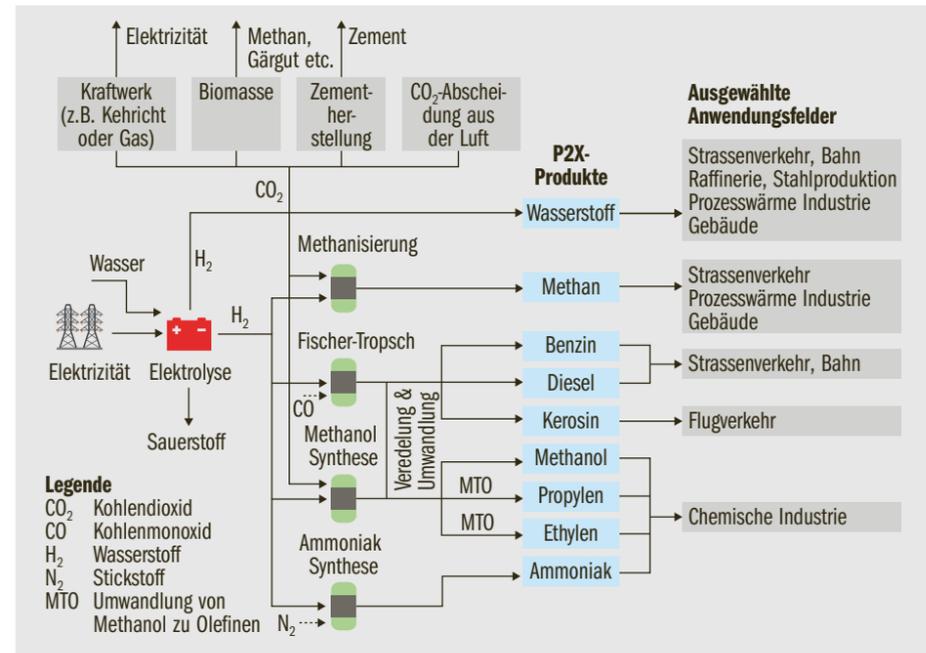
Den Prozess zur Herstellung eines synthetischen – also künstlich hergestellten – Energieträgers mit Strom bezeichnet man als «Power-to-X». In einem ersten Schritt wird Wasser in einem sogenannten Elektrolyseur durch Strom (Power) in seine Bestandteile Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) aufgespalten. Den Wasserstoff nutzt man nun entweder direkt oder verarbeitet ihn weiter. Für letzteres gibt man ihn zusammen mit Kohlenstoffdioxid (CO₂), das aus industrieller Abluft oder direkt aus der Atmosphäre gewonnen wird, in einen Reaktor. Je nach Reaktortyp entstehen aus den beiden Ausgangsstoffen H₂ und CO₂ unterschiedliche Produkte («X»). Diese können gasförmig (z. B. Methan), flüs-

sig (z. B. Kerosin) oder fest (z. B. Kunststoffe) sein (siehe Grafik). Produkte aus Power-to-X-Prozessen sind somit sehr vielfältig, jedoch immer strombasiert. Bei der direkten Verwendung der kohlenstoffbasierten synthetischen Power-to-X-Produkte wird durch die Verbrennung CO₂ freigesetzt. Dies ist zum Beispiel beim Einsatz von synthetischem Kerosin in der Flugbranche oder bei der Nutzung von synthetischem Methan in der Industrie der Fall. Dabei entsteht jedoch nur so viel CO₂, wie zuvor für die Produktion der jeweiligen Energieträger der Atmosphäre oder einer Abgasquelle entnommen wurde. Power-to-X ist deshalb unter diesen Voraussetzungen ein Netto-Null-Prozess – es entsteht ein klimaneutraler Kreislauf.

Katalysator oder Mikrobe

Soll der in der Elektrolyse gewonnene Wasserstoff beispielsweise zu synthetischem Methan umgewandelt werden (Power-to-Methan), sind verschiedene Verfahren möglich. Es wird unterschieden zwischen der katalytischen und der biologischen Methanisierung. Bei der katalytischen Methanisierung läuft der Prozess bei rund 300 °C mithilfe eines Katalysators ab, der auf ein Trägermaterial mit möglichst grosser und deshalb zerklüfteter Oberfläche aufgetragen wird. Als Katalysator wird in der Praxis wegen des günstigen Verhaltens und der geringen Kosten Nickel eingesetzt.

Bei der biologischen Methanisierung wird die Synthese von Methan durch Mikroben bewerkstelligt und findet bei Temperaturen bis 70 °C statt. Hier werden Wasserstoff und CO₂ durch so-



Mit dem Power-to-X-Prozess kann eine Vielzahl synthetischer Energieträger für unterschiedliche Anwendungen hergestellt werden. (Grafik: Weissbuch Power-to-X)

nannte methanogene Mikroorganismen in Methan umgewandelt. Diese einzelligen Lebewesen aus der Domäne der Archaeen bilden das Methan als Produkt ihres Energiestoffwechsels.

Herstellung benötigt viel Energie

Der Power-to-X-Prozess ist sehr energieintensiv. Dies liegt vor allem an der Produktion von Wasserstoff, der als Ausgangsstoff für die meisten Power-to-X-Produkte dient. Bei der Elektrolyse wird zwischen alkalischer, PEM-(Proton Exchange Membrane) und Hochtemperaturelektrolyse unterschieden. Während die alkalische Elektrolyse bereits seit längerem Standard und technisch etabliert ist, ist die PEM-Elektrolyse erst seit Kurzem kommerziell erhältlich. Sie ist tendenziell teurer in der Anschaffung, dafür jedoch günstiger im Betrieb. Die Hochtemperaturelektrolyse befindet sich noch im Entwicklungsstadium, kommt erst langsam auf den Markt und ist dementsprechend noch relativ teuer. Heute erreichen Elektrolyseure Wirkungsgrade zwischen 65 und 85 %, je nach Verfahren und der Möglichkeit einer Abwärmenutzung. Gemäss dem 2019 publizierten «Weissbuch Power-to-X» liegen die typischen Wirkungsgrade für die Herstellung von strombasierten

synthetischen Energieträgern zwischen 20 % für OME (Polyoxymethylendimethylether; eine farblose und brennbare Flüssigkeit, die als Alternative zu Diesel verwendet werden kann) und 40 % für Methan. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Wirkungsgrade im Rahmen der weiteren technischen Entwicklung erhöhen. So werden beispielsweise an der Power-to-Methan-Anlage der OST Ostschweizer Fachhochschule technische Innovationen entwickelt, welche die Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit des Prozesses erhöhen sollen. Mit den erarbeiteten Erkenntnissen soll bei Übertragung der Technologie auf eine Grossanlage ein Wirkungsgrad von 70 % ermöglicht werden.

Die heute noch tiefen Wirkungsgrade zeigen die Grenzen synthetischer Energieträger auf. Wenn Strom direkt genutzt werden kann, ist dies aus Effizienzgründen grundsätzlich sinnvoller als die Umwandlung in einen synthetischen Treib- oder Brennstoff. Dennoch wird Power-to-X wesentlich dazu beitragen, dass unser Energiesystem künftig CO₂-neutral betrieben werden kann. Egal ob Sektorkopplung, Speicherung von Überschüssen oder Dekarbonisierung der Mobilität – ohne Power-to-X geht nichts. ■



Fachinformation. Schon heute hat der Elektromotor gegenüber dem Verbrenner in vielen Aspekten die Nase vorn. Er dürfte sich letztlich auch dank strengerer Umweltauflagen durchsetzen. **Antonio Suárez**

Der grosse Vergleich

Ein Verbrennungsmotor besteht aus rund 2500 Bauteilen, ein Elektromotor bloss aus etwa einem Fünftel davon. Er braucht weder Kupplung noch Schaltgetriebe oder Kraftstoff- und Partikelfilter. Tank, Zündkerzen und Zahnriemen sind ebenso wenig nötig wie Auspuff und Katalysator. All das macht ihn deutlich kompakter und wartungsärmer. «Weniger bewegliche Teile bedeuten im Regelfall weniger Komplexität und weniger Verschleiss», bestätigt Andreas Burgener, Direktor des Branchenverbands Auto-Schweiz. «Da ein Elektroauto einfacher konstruiert ist, schneidet es bei den reinen Unterhaltskosten besser ab.» Jörg Beckmann, Direktor der Mobilitätsakademie des TCS, ergänzt: «Ich muss nicht zum Ölwechsel, und die Teile gehen auch weniger oft kaputt.»

Nichtsdestotrotz hat der Verbrennungsmotor den grossen Vorteil, dass die Energiedichte des Treibstoffs um den Faktor

50 bis 100 höher liegt als jene von Akkuzellen. Es sei richtig, dass in einem Liter Diesel mehr Energie gespeichert sei als in einem Kilogramm Batterie, räumt Verkehrssoziologe und Raumplaner Beckmann ein. «Doch das ändert sich gerade. Heute hat man bereits deutlich höhere Energiedichten als noch vor zehn Jahren.» Ein weiterer Nachteil des elektrischen Fahrzeugs ist der höhere Kaufpreis. Burgener schätzt die Mehrkosten je nach Modell auf bis zu 15 000 Franken. Doch die Anschaffungskosten dürften weiter sinken, Beckmann geht von einer Preisparität bis spätestens 2024 aus.

Besserer Wirkungsgrad

Die Fortschritte sind enorm, inzwischen sind Batterien sehr leistungsfähig und effizient. Dazu trägt ihr hoher Wirkungsgrad bei: «Ein guter Elektromotor erzielt bis zu 94%, während der beste Dieselmotor auf maximal 38% kommt», sagt Au-

tomobilingenieur Burgener. Beim Elektromotor steht zudem von Anfang an das volle Drehmoment zur Verfügung. So kann ein Elektroauto ähnlich schnell beschleunigen wie ein hochtouriger Sportwagen mit Verbrennungsmotor. Bei der Reichweite hinkt das Elektrofahrzeug jedoch hinterher. Gemäss einheitlichen Testverfahren erreichen aktuelle Modelle je nach Batteriegrösse 200 bis 600 km. Die meisten lägen zwischen 380 und 430 km, unter realen Bedingungen aber teils bis zu 20% darunter, relativiert Burgener. Im Vergleich erziele ein Benziner bis zu 700 und ein Diesel bis zu 900 km. Die Reichweite kann zudem drastisch sinken. «Die Batterie braucht eine ideale Temperatur. Im Sommer muss sie systembedingt heruntergekühlt und im Winter beheizt werden», so Burgener. Dies gelte in geringerem Masse zwar auch für den Benzin- und Dieselmotor, vor allem bei Kaltwetter. Doch wirke sich schlechte Witterung beim E-Auto stärker aus. Dem hält Mobilitätsexperte Beckmann entgegen, dass Elektrofahrzeuge mittlerweile vollkommen alltagstauglich seien, auch wenn die Reichweite von Verbrennern noch nicht erreicht werde.

Startnachteil in der Umweltbilanz

Der CO₂-Ausstoss eines Verbrennungsmotors beträgt nach Angaben des ADAC und der Beratungsgesellschaft «co2online» bei einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 7,4 l pro 100 km rund 17 kg. Elektroautos emittieren dagegen beim Fahren keine Treibhausgase. Allerdings ist deren Ökobilanz nur dann besser, wenn der gesamte Lebenszyklus einbezogen wird, denn beim fabrikneuen Elektroauto ist der CO₂-Rucksack wegen der energieintensiven Akkufertigung grösser. Gemäss einer Aufstellung der Zeitschrift «Automobilwoche» gehen die meisten Studien von 100 bis 200 kg CO₂-Emissionen pro kWh Batteriekapazität aus. Dieser Startnachteil wird erst nach einer gewissen Fahrleistung wettgemacht. Wie viele Kilometer ein E-Auto fahren muss, bis es gegenüber einem mit fossiler Antriebstechnik einen Emissionsvor-

teil hat, ist strittig. Der Faktencheck der «Automobilwoche» gibt je nach Strommix der Ladequelle eine Spannweite von 50 000 bis 150 000 km an, während eine Auswertung der «WirtschaftsWoche» einen Mittelwert von bloss 45 000 km ermittelt hat. In der Schweiz dürfte dieser Wert wegen des hohen Anteils von erneuerbarem Strom noch tiefer liegen. Gemäss einer Markttrendstudie des Bundesamts für Energie kompensiert ein Elektroauto bereits nach 30 000 km den Emissionsüberschuss aus der Produktion. Über die gesamte Lebensdauer würden so insgesamt 34 Tonnen CO₂ eingespart, womit das E-Auto doppelt so gut abschneidet wie ein Verbrenner.

Ist die Zeit der Verbrenner vorbei?

Der Pfad zur Elektrifizierung des Fahrzeugparks scheint vorgezeichnet. Ist die Zeit des Verbrenners damit vorbei? Jörg Beckmann sieht im Wettbewerb der Technologien die Batterieelektrik klar vorne. Den Ausschlag dafür gibt seiner Meinung nach der regulatorische Rahmen: Kalifornien hat beschlossen, den Verkauf von Verbrennungsmotoren bis 2035 zu verbieten, Grossbritannien hat kürzlich nachgezogen. Schweden ist mit Stichjahr 2030 noch ambitionierter. Auch die EU denkt über ein Verkaufsverbot nach. «Der gesellschaftliche Konsens hinsichtlich Nachhaltigkeit hat dazu geführt, dass man die Umweltfolgen der Mobilität in den Griff kriegen muss», so Beckmann. «Und das ist es, was es so deutlich macht, dass die Zeit des Verbrenners vorbei ist.» Weniger kategorisch ist Andreas Burgener, der den Verbrennungsmotor noch nicht abschreibt. Ausserdem spricht er sich dezidiert gegen politischen Dirigismus aus: «Wenn wir uns biogene oder synthetische Treibstoffe vorstellen können, die man mit Sicherheit in der Flugindustrie, wahrscheinlich auch bei den Baumaschinen und möglicherweise bei den Nutzfahrzeugen einsetzen wird, dann sollte man es tunlichst vermeiden, Technikverbote zu propagieren.» ■

Fachinformation. Manuelles Lüften ist anspruchsvoll und bringt oft nicht genügend Luft ins Zimmer. Hier können mechanische Lüftungen helfen. So oder so braucht es ein Lüftungskonzept. **René Mosbacher**

Nur mit Konzept

Schulzimmer sind kompliziert, wenn es um die Frischluftversorgung geht. Weil sie während des Unterrichts meist stark belegt sind, benötigen sie relativ hohe Zuluftmengen. Die braucht es, um im Raum entstandene Belastungen so weit abzuführen, dass die Luftqualität über den Tag gut bleibt.

Lüftungslatein

Bei Lüftungen unterscheidet man folgende Luftarten:

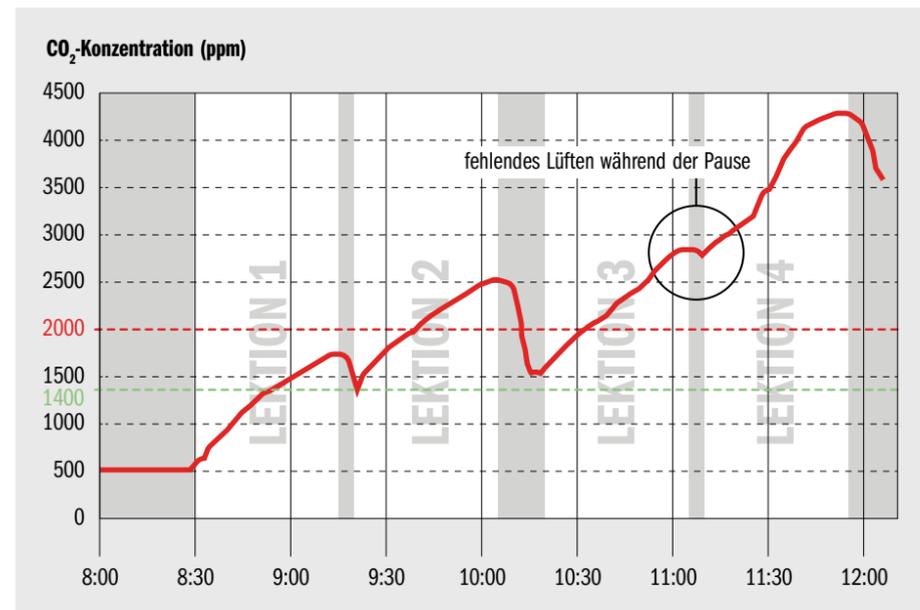
- Aussenluft (AUL) – die Luft, die ausserhalb des Gebäudes gefasst wird
- Zuluft (ZUL) – die Luft, die in einen Raum eingeführt wird
- Abluft (ABL) – die Luft, die aus dem Raum abgeführt wird
- Fortluft (FOL) – die Luft, die wieder an die Umgebung abgegeben wird.

Diese Unterscheidung ist wichtig, weil zwischen zwei Luftarten oft ein Prozess stattfindet – zwischen Aussenluft und Zuluft beispielsweise eine Reinigung oder eine Wärmerückgewinnung.

Allgemeine Vorgaben zum Luftwechsel liefert die Norm SIA 382/1: 2014. Unter der Voraussetzung, dass die CO₂-Konzentration 1400 ppm nicht überschreiten sollte, verlangt sie pro Person 18 bis 30 m³/h Zuluft. Ergänzend dazu liefert das Merkblatt SIA 2024:2015 die Auslegungskriterien für Lüftungsanlagen von Schulräumen. Sie fordert 25 m³/h Zuluft pro Person, wenn zusätzlich auch durch die Fenster gelüftet wird. Ohne unterstützende Fensterlüftung sind es 30 m³/h. Weil Schulzimmer akustisch heikel sind, soll der Luftaustausch geräuscharm vonstattengehen. Auch Zugluft und starke Temperaturschwankungen gilt es zu vermeiden. Schliesslich soll beim Lüften im Winter möglichst wenig Wärme verlorengehen und im Sommer möglichst wenig von aussen eindringen. Wünschenswert ist zudem, dass die zugeführte Luft auch von Staub und Pollen befreit wird.

Beim manuellen Lüften verschlechtert sich die Raumluft über den Tag in Form einer Sägezahnkurve. Jedes Lüften verbessert die Luft etwas. Meist reicht es aber nicht, um die Luftqualität von vor der Lektion wiederherzustellen. Geht es einmal ganz vergessen, dann herrscht rasch dicke Luft.

(Bild: Bundesamt für Gesundheit)



Lüften ...

In Schulhäusern ohne mechanische Lüftung muss der Luftaustausch durch die Fenster sichergestellt werden. Das geht am besten vor und nach dem Unterricht und während der Pausen. Wie oft und wie intensiv gelüftet werden muss, hängt vom pro Person verfügbaren Raumvolumen ab. Grosse Zimmer mit kleinen Klassen sind bezüglich Luftqualität robuster, weil der grosse Luftvorrat den Anstieg der CO₂-Konzentration bremst. Deshalb gibt es in alten Schulhäusern mit hohen Räumen und Fenstern auch weniger Probleme.

Beim manuellen Lüften schwankt die Luftqualität stark. Am Morgen ist sie meist noch gut, während der Lektionen verschlechtert sie sich und in den Pausen verbessert sie sich wieder. Weil aber die Pausenlüftung oft nicht reicht, um die Luftqualität von vor dem Unterricht wiederherzustellen, steigt die CO₂-Konzentration im Lauf des Tages in einer Art Sägezahnkurve. In kleinen, dicht belegten

Zimmern kann es vorkommen, dass die CO₂-Konzentration schon vor Ablauf einer Lektion über 2000 ppm steigt. Dann müsste für 5 bis 10 Minuten gelüftet werden, was aber den Schulbetrieb stören kann.

Soll manuelles Lüften den gewünschten Effekt bringen, muss es nicht nur organisiert und überwacht werden, sondern auch von allen Beteiligten verstanden und akzeptiert sein. In der Praxis ist letztlich die Lehrperson dafür verantwortlich. Das hat aber seine Tücken, denn wenn sie das Zimmer in der Pause verlässt, werden die Fenster vor allem im Winter oft gleich wieder geschlossen.

Aus verschiedenen Studien wissen wir mittlerweile, dass die Luftqualität beim manuellen Lüften meist ungenügend ist. Oft sind die Ursachen hierfür bei den Nutzenden selbst zu suchen. Viele wissen nicht, wie richtig gelüftet wird. Andere vergessen schlicht, es überhaupt zu tun. Nicht optimal ist die Fensterlüftung auch für Allergiegeplagte, weil durch offene

Kostengünstige Lösung: Im Schulhaus Pfingstweid in Zürich dient der Korridor als Zu- und Abluftkanal. Durch die Blenden unterhalb der Fenster zum Korridor gelangt die Luft ins Zimmer. Durch die Überströmöffnung oberhalb der Tür wird die Abluft wieder abgeführt. (Bild: Jürg Zimmermann)