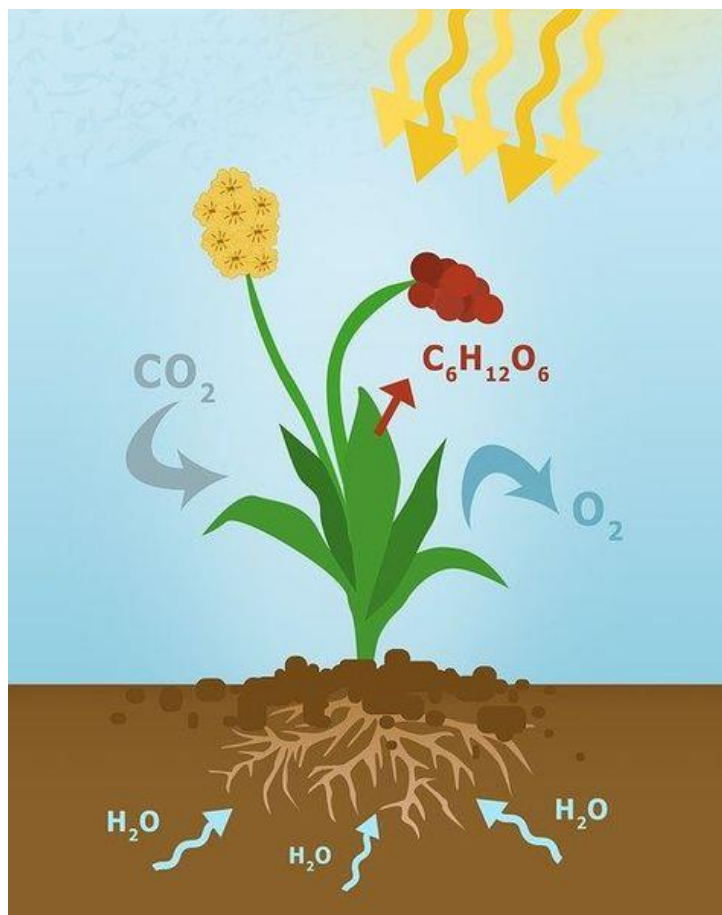


CO₂-Bindung durch Hydrokulturpflanzen und Cyanobakterien - ein Vergleich im Büro Innenraum

Forschungsbericht
von Prof. Dr. Sabrina Schork,
Technische Hochschule Aschaffenburg



Grafik 1: Photosynthese, Urheber: gemeinfrei

Danksagung

Mein Dank gilt meinen Kollegen und Kolleginnen der TH Aschaffenburg, unserem Dekan der Fakultät Wirtschaft und Recht sowie dem Vizekanzler Forschung. Durch einen demokratischen Prozess war es mir möglich einen Teil meines Lehrdeputats für Forschung aufzuwenden und mit Geldern aus dem bayrischen Staatsfond die Forschungsinfrastruktur zu finanzieren.

Abkürzungsverzeichnis

bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
°C	Celsius
C3-Pflanzen	Calvin-Pflanzen
ca.	circa
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DNA	Desoxyribonukleinsäure
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde
IAQIP	Indoor Air Quality Information Platform
IBO	Institut für Baubiologie und Bauökologie
IW Köln	Institut der deutschen Wirtschaft
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
Mio.	Millionen
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat, ist ein Natriumsalz der Kohlensäure
NO ₂	Stickstoffdioxid
O ₃	Bodennahes Ozon
PM ₁₀	Feinstaub, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer
PM _{2.5}	Feinstaub Teilmenge von PM ₁₀ , Partikel können in die Lungenbläschen gelangen
ppm	Parts per Million (Teile pro Million)
rh	Luftfeuchtigkeit
SO ₂	Schwefeldioxid
t	Temperatur
vgl.	vergleiche
VOC	Flüchtige Verbindungen
WHO	Welthandelsorganisation
z.B.	zum Beispiel

Inhalt

1. Einführung in das Themenfeld	5
2. Erläuterung grundlegender Begriffe	5
3. Art der Datenerhebung.....	9
4. Messergebnisse zur Innenraum Luftqualität.....	10
5. Interpretation der Ergebnisse	11
6. Fazit.....	13
7. Literaturverzeichnis.....	14

1. Einführung in das Themenfeld

Nach einem WHO-Bericht für Europa verbringen Menschen 90% ihrer Zeit in Innenräumen (Sarigiannis 2013). Die Luft in Innenräumen ist häufig stärker mit Schadstoffen belastet als die Außenluft (Paciência et al. 2016; Pegas et al. 2012). Kohlenstoffdioxid in der Atemluft stellt eines der fünf größten Risiken für die öffentliche Gesundheit dar. Erhöhte CO₂-Werte können die Konzentration des Menschen und die Leistung bzw. Produktivität mindern (CiK Solutions 2022).

Die WHO (2022) geht davon aus, dass sich die Lebenserwartung in Europa, durch das Einatmen von Luftschadstoffen, wie Feinstaub und Stickoxiden, um bis zu drei Jahre verkürzt.

Um die Gesundheit von Menschen zu erhalten und deren Wohlbefinden sowie Produktivität am Arbeitsplatz positiv zu beeinflussen, setzen immer mehr Organisationen auf die Begrünung von Arbeitsflächen (Falkenberg 2012).

Bislang wurden die Effekte von Hydrokulturen oder Mikroalgen an renommierten Universitäten in Laborräumen mit komplett kontrollierbaren Umfeldbedingungen gemessen. Dadurch wurde nachgewiesen, dass bspw. Mikroalgen CO₂ bzw. CO binden (Jander 2001; Dreßler et al. 2022) und Hydrokulturen CO₂ binden und die Luftfeuchtigkeit erhöhen (Irga 2012).

Bislang fehlen Messungen in Büroräumen von Bestandsgebäuden, die in Deutschland 209 Mio. m² des Gebäudebestandes ausmachen (Umweltbundesamt 2022c).

In dieser Studie wird diese Lücke geschlossen. Das Ziel der Forschenden ist es, eine Situation so lebensecht wie möglich nachzustellen und mit Hilfe von zuverlässigen Sensoren die Luftzusammensetzung zu messen. Es werden zwei in Deutschland erhältliche grüne Produkte getestet und deren Effekte auf die Luftzusammensetzung analysiert. Zum Einsatz kommen im Jahr 2021 bis 2022 eine Hydrokultur Pflanzenwand, die in etwa 4.950 € in der Anschaffung kostet, sowie ein Cyanobakterien Bild, das ca. 360 € in der Anschaffung kostet.

2. Erläuterung grundlegender Begriffe

Um die Erhebung der Luftzusammensetzung und den Einsatz von Hydrokulturen und Cyanobakterien nachvollziehen zu können, erfolgt eine Spezifikation grundlegender Begriffe. Es folgen Definitionen aus Lexika und einschlägigen wissenschaftlichen Quelle zu den Begriffen Innenraumlufte, Luftfeuchtigkeit und Kohlenstoffdioxid, Pflanzen, Hydrokulturen, Algen, Mikroalgen und Cyanobakterien.

Innenraumlufte ist die Luft in Innenräumen, also Räumen innerhalb eines privaten (z.B. Wohnhäusern) oder öffentlichen Gebäudes (z.B. Bürogebäude, Krankenhäuser, Schulen) sowie das Innere von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln. Da sich der Mensch aus beruflichen und/oder privaten Gründen zu einem großen Teil in Räumen bzw. Verkehrsmitteln aufhält, ist die Qualität die Reinheit der Innenraumlufte von wichtiger, gesundheitlicher Bedeutung (Chemie Lexikon 2022a).

Die **Luftfeuchtigkeit**, oder kurz **Luftfeuchte**, bezeichnet den Anteil des Wasserdampfs am Gasgemisch der Erdatmosphäre oder in Räumen. Flüssiges Wasser (z.B. Regentropfen) oder Eis (z.B. Schneekristalle) werden der Luftfeuchtigkeit nicht zugerechnet. Die Luftfeuchtigkeit ist eine wichtige Kenngröße für zahlreiche technische und meteorologische Vorgänge sowie für die Gesundheit und die Behaglichkeit. **Das geläufigste Maß für die Luftfeuchte ist die relative Luftfeuchtigkeit, angegeben in Prozent. Sie bezeichnet das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt (Chemie Lexikon 2022b).**

Der Behaglichkeitsbereich für die **relative Luftfeuchtigkeit** liegt laut Umweltbundesamt (2022b) zwischen 30 und 65% und laut Österreichischem Institut für Baubiologie und Bauökologie zwischen 30 bis 55% (IBO 2022).

Kohlenstoffdioxid ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Kohlenstoffdioxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist mit einer Konzentration von ca. 0,04% derzeit 381 ppm (parts per million) ein natürlicher Bestandteil der Luft. CO₂ entsteht sowohl bei der vollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen unter ausreichendem Sauerstoff als auch im Organismus von Lebewesen als Kuppelprodukt der Zellatmung. Das CO₂ wird dabei über den Atem abgegeben. Umgekehrt sind Pflanzen, manche Bakterien und Archaeen in der Lage, CO₂ durch die Kohlenstoffdioxid-Fixierung in Biomasse umzuwandeln. So produzieren Pflanzen beispielsweise bei der Photosynthese aus anorganischem CO₂ Glukose (Chemie 2022).

Laut Umweltbundesamt (2022a) sind CO₂-Werte von unter 1.000 ppm in Innenräumen empfehlenswert. Bei einem Wert unter 800 ppm ist die Rede von einer hohen Raumlufqualität. In Prozent ausgedrückt sollte maximal 0,08% der Luft aus CO₂ bestehen.

Pro Person werden ca. 25 bis 36 m³/h Frischluft benötigt, damit die CO₂-Werte in einem Wohnraum bei normaler Aktivität möglichst unter 1.000 ppm bleiben (Umweltbundesamt 2021). In einem 50-m² großen Altbau-Hörsaal ohne Lüftungs- oder Klimaanlage müsste bei einer Anwesenheit von 20 Erwachsenen und geschlossenen Fenstern bereits nach 13 Minuten gelüftet werden, um das CO₂-Level von 1.000 ppm nicht zu überschreiten. In einem 100-m² großen Hörsaal müsste in einem Altbau bei Anwesenheit von 100 Erwachsenen bereits nach zehn Minuten gelüftet werden (Fraunhofer IAQIP 2022).

Die CO₂-Konzentration und die damit eng verbundene Raumlufqualität hängt von der Raumgröße, der Belastungssituation, der Zeitdauer der Raumnutzung, der Anzahl der Personen und der Aktivität der Nutzer ab. Höhere CO₂-Konzentrationen im Innenraum sind möglich durch Kerzen, offene Leuchten, offene Flammen oder technische Anlagen (Umweltbundesamt 2008: 1358).

Pflanzen benötigen zur Photosynthese CO₂ und produzieren dabei Sauerstoff. Das in der natürlichen Umgebungsluft enthaltene CO₂ liegt mit einem Anteil von derzeit ca. 400 ppm unterhalb des für C3-Pflanzen wie Weizen, Roggen oder Reis zum Wachstum optimalen Anteils von ca. 800 bis 1.000 ppm.

Um den CO₂-Gehalt in Räumen auf einem guten Level zu halten, bietet es sich an Pflanzen einzusetzen, die das CO₂ zur Photosynthese benötigen. Algen sowie Hydrokulturen benötigen

wissenschaftlichen Laborversuchen folgend viel CO₂ für Ihr Wachstum (Irga 2012; Irga et al. 2013).

Hydrokultur ist eine Methode der Aufzucht von höheren Pflanzen in wässrigen Nährlösungen anstelle von Erde. Der Vorteil gegenüber einer Kultivierung mit „normaler“ Erde liegt darin, dass die Nährstoffe der Pflanzen für den jeweiligen Zweck und die Pflanzen zusammengestellt werden können und die Versorgung leicht automatisiert werden kann (Spektrum 2022a). Die Hydrokultur ist ein exakt aufeinander abgestimmtes System, welches die herkömmliche Pflanzenhaltung mit Erde ersetzt. Als Ersatz kommt ein spezielles Kultursubstrat zum Einsatz, welches das Gießwasser langfristig speichert und nach und nach an die Pflanze abgibt. Dadurch wird das Gießen deutlich seltener notwendig und ist besser zu kontrollieren (Gartenlexikon 2022). Die folgende Grafik bildet ab, wie sich eine Hydrokultur zusammensetzt.



Grafik 2: Hydrokultur Pflanze, Urheber: unbekannt

Algen entziehen der Atmosphäre CO₂ und binden es in organische Materie. Sie wandeln dreimal mehr Kohlenstoffdioxid um als Nutzpflanzen. Sie vermehren sich schneller als jede andere Pflanze. Für ihr Wachstum benötigen sie Sonnenlicht, Wasser, CO₂ und einige anorganische Nährstoffe. Der Sonderbericht des Weltklimarates „Global Warming of 1.5°C“ stuft Herstellungsverfahren, die mehr Kohlendioxid verbrauchen als sie selbst freisetzen, als wichtige Option gegen den Klimawandel ein (HeidelbergCement 2022).

Als **Mikroalgen** werden einzellige Mikroorganismen bezeichnet, die zur Klasse der phototrophen Organismen gehören, also Photosynthese betreiben. Das bedeutet, dass Mikroalgen, genau wie Pflanzen, mit Hilfe von Licht Kohlenstoffdioxid binden und dabei Sauerstoff freisetzen. Mikroalgen verfügen über einen flexibleren Stoffwechsel als beispielsweise Pflanzen und können so eine Vielzahl von Schadstoffen abbauen. Im Gegensatz zu Pflanzen und Moose überzeugen Algen durch ihre wesentlich effizientere Filterleistung. Algen benötigen keinen Boden zum Überleben, sondern sind in der Lage ihre Nährstoffe aus der Luft und dem sie umgebenden Wasser zu gewinnen. Stoffe wie Feinstäube, Stickoxide, CO₂ und weitere Chemikalien, welche für uns Menschen

gesundheitsgefährdend sind, dienen den Algen als Nährmedium (Solaga 2022). Versuche verschiedener Arbeitskreise haben gezeigt, dass Mikroalgen die Fähigkeit besitzen, anorganischen Kohlenstoff in Form von CO_2 oder NaHCO_3 zusätzlich für eine erhöhte Photosyntheserate bzw. Wachstumsrate zu verwerten. Dies eröffnet grundsätzlich die Möglichkeit, Massenkulturen von Mikroalgen zur Verwertung von Abgas- CO_2 und damit zur Reduzierung des CO_2 -Ausstoßes in die Atmosphäre einzusetzen (Jander 2001).

Cyanobakterien, auch Blaualgen genannt, sind Mikroorganismen, die wie Bakterien einen prokaryotischen Zellaufbau besitzen, aber eine oxygene Photosynthese durchführen, in der Sauerstoff frei wird. Prokaryotisch ist eine Bezeichnung für Mikroorganismen, die morphologisch und cytologisch wenig differenziert sind. Hauptmerkmal ist das Fehlen eines echten, von einer Membran umschlossenen Zellkerns (Spektrum 2022c). Aufgrund ihres prokaryotischen Zellaufbaus und der DNA-Zusammensetzung müssen sie den Bakterien zugerechnet werden. Cyanobakterien haben große ökologische Bedeutung im globalen Kohlenstoffkreislauf und Stickstoffkreislauf und auch in der Evolution der Pflanzen. Sie sind weltweit in Süß-, Brack- und Salzwasser sowie überall im Boden Bodenorganismen verbreitet. Planktonische Cyanobakterien haben einen sehr hohen Anteil an der photosynthetischen Kohlendioxidfixierung, und als Primärproduzenten stehen sie oft an der Basis der Nahrungskette in marinen Habitaten. Sie haben auch erheblichen Anteil an der Primärproduktion in Binnengewässern. Es wird geschätzt, dass 20 bis 30% der photosynthetischen Kohlendioxidfixierung durch Cyanobakterien erfolgt. Es gibt auch fakultativ chemotrophe Formen, die im Dunkeln z.B. mit Glucose als Energie- und Kohlenstoffquelle wachsen. Glucose wird dabei im oxidativen Pentosephosphatzyklus vollständig zu CO_2 oxidiert (Spektrum 2022b). Die folgende Grafik zeigt Cyanobakterien in der Nahaufnahme.



Grafik 3: Nahaufnahme der Cyanobakterien; Foto: Getty Images/Visuals Unlimited

3. Art der Datenerhebung

In Deutschland existierten im Jahr 2015 323.700 Büro- und Verwaltungsgebäude mit einer Gesamtnutzfläche von 382,4 Mio. m². 64% der Bürogebäude wurden vor dem Jahr 1978 errichtet (IW Köln 2022). Das Gebäude 20 der Technischen Hochschule Aschaffenburg, indem der folgende Test stattfindet, wurde im Jahr 1896 errichtet und ist heute ohne Kühlungs- oder Lüftungssystem ausgestattet, jedoch mit einer manuell steuerbaren Heiz- und Beschattungsanlage. Die Messungen der Luftzusammensetzung werden in einem Zweierbüro durchgeführt, das durch zwei Fenster manuell belüftet werden kann.

Im circa 25-m² großen Büro werden zwei Sensoren zur Messung der Luftzusammensetzung des Innenraums installiert. Erhoben werden vom 27.01. bis 28.03.2022 über 24 Stunden Temperatur (t), Luftfeuchtigkeit (rh), CO₂-Werte, CO-Werte, der VOC-Index sowie O₃, PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂. Die Daten können über eine digitale Plattform eingesehen werden (Breeze Technologies 2022).

Die Luftwerte des Büros werden über fünf Tage mit geschlossenen Fenstern erhoben. Die Heizkörper werden nicht aktiviert. Das Szenario 1 wird als „Büro ohne pflanzenartige Lebewesen“ bezeichnet. Daraufhin folgen im selben Bürozustand jeweils fünf Tage Luftmessungen mit einer 120x80x100cm großen Pflanzenwand, die aus 112 Hydrokulturlpflanzen besteht. Das Szenario 2 wird als „Büro mit einer Pflanzenwand“ bezeichnet. Daraufhin folgen im selben Bürozustand jeweils fünf Tage Luftmessungen mit dem 50x50x5 cm Cyanobakterien Bild. Dieses Szenario 3 wird „Büro mit einem Algenbild“ genannt. Die Größe des Algenbildes reicht laut Hersteller aus, um einen Raum von ca. 20 bis 25-m² unterhalb der gesundheitsschädlichen Grenzwerte zu reinigen.

4. Messergebnisse zur Innenraum Luftqualität

Die folgende Tabelle zeigt die Messwerte, die während des Testzeitraums erhoben wurden. Im Fokus der Analyse stehen die CO₂-, rh- und t-Werte.

Tabelle 1: Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Innenraum Luftzusammensetzung

	Richtwert	Szenario 1: Büro ohne pflanzenartige Lebewesen	Szenario 2: Büro mit einer Pflanzenwand	Szenario 3: Büro mit einem Algenbild	Sensoren
Zeitraum	5 Tage	24.-28.3.22	7.-11.2.22	9.-13.3.22	
CO ₂	<1.000 ppm ideal: <800 ppm	400-737,68	400,34-496,2	405,9-448,5	Achtung: Keine Ausgabe von Werten < 400 ppm
rh	30-55%/60%	40,47-43,58 46,07-47,59	62,45-66,69 58,14-60,52	44,63-45,09 47,45-48,06	Sensor 1 Sensor 2
t	21-22 °C	19,93-20,69 19,30-20,06	19,01-19,51 18,47-19,01	18,65-19,18 18,30-18,83	Sensor 1 Sensor 2
TVOCs	<0,2 mg/m ³	27-32	26-36	26-34	Einheit vom Hersteller nicht bekannt gegeben
CO	4 mg/m ³ (24h)	0,12-0,14	0,12	0,12	
pm10	0-12 µg/m ³ (1h)	0,27-3,58	0,27-3,57	0,27-3,28	
pm25	0-7 µg/m ³ (1h)	0,00-0,05	0,00-0,04	0,00-0,03	
NO ₂	0-25 µg/m ³ (1h) 40 µg/m ³ (24h)	11,8	11,8	11,8	
O ₃	0-33 µg/m ³ (1h) 120 µg/m ³ (24h)	0,05	0,05-0,06	0,05	

Das Forscherinteresse ist herauszufinden, ob sich die jeweiligen Werte beim Anbringen eines Algenbildes bzw. beim Einsatz einer Hydrokultur Pflanzenwand verändern und wenn ja, wie. Der Gesamtwert aller **flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC)** bewegte sich zwischen 26 und 36. Laut Hersteller sind das exzellente Index-Werte. Da die Messeinheit des Index auch auf Rückfragen hin, nicht bekannt gegeben wird, ist das Ergebnis nicht interpretierbar. Ein wichtiger TVOC Schwellenwert ist <0.2 mg/m³, der von Seifert (1999) in einer Studie des Umweltbundesamt eingefordert wird. TVOCs setzen sich aus sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC: Gasmaus oder Kanister; Adsorption an Aktivkohle), aus flüchtigen Verbindungen (VOC: Adsorption an Tenax, graphitisiertem Kohlenstoff oder Aktivkohle) und aus halb flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC: Adsorption an Polyurethanschaum oder XAD-2) zusammen. VOC sind ein Hauptbestandteil des photochemischen Smogs, wenn sie mit Sonnenlicht und Stickoxiden (NO₂) in der Atmosphäre reagieren. Zu hohe TVOC Werte im Innenraum können das Wohlbefinden des Menschen beeinflussen und zu Kopfschmerzen führen.

Der **Kohlenstoffdioxid (CO₂)** Gehalt lag mit 400 bis 737,68 ppm unter dem DIN 1946 Teil 2 Richtwert von 1.000 ppm und unterhalb des Idealwertes von 800 ppm des Umweltbundesamtes. Eine Messung unterhalb des Wertes 400 ppm findet durch die Sensoren nicht statt. Der **maximale CO₂-Wert** in der Luft sank mit der Pflanzenwand (-241,48 ppm) und mit dem Algenbild (-289,18 ppm). Der CO₂-Minimalwert stieg durch die Pflanzenwand (+0,34) und das

Algenbild (+ 5,9) leicht über 400 ppm an. Da der Sensor zur Messung der Innenraumluft keine CO₂-Werte unter 400 ppm ausgibt, sind die Anstiege im Minimalbereich nicht vollständig und somit nicht interpretierbar. Der **Kohlenmonoxid (CO)** Gehalt lag mit 0.11 bis 0.42 mg/m³ unter dem 24h Richtwert der WHO von 4 mg/m³ (Umweltbundesamt 2022b). Ebenso der **Stickstoffdioxid (NO₂)** Wert lag mit 0.0118 mg/m³ unterhalb des Richtwerts des Umweltbundesamtes, der bei 0.080 mg/m³ angesetzt ist.

Während des Einsatzes der **Pflanzenwand** stieg die **Luftfeuchtigkeit (rh)** über den Richtwert des Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie von 30 bis 55% (IBO 2022) auf 58 bis 67% an. Die **Temperatur (t)** lag mit 18 bis 19 °C meist unter dem Richtwert von 20 Grad des Umweltbundesamtes (2020).

5. Interpretation der Ergebnisse

Es folgt eine Auseinandersetzung mit den Ergebnissen unter Anbetracht der Faktoren, die die Instandhaltung der einzelnen Szenarien betrifft (vgl. Tabelle 2). Neutrale Einschätzungen werden mit einer (0) eingestuft, negative Einschätzungen werden mit einem Minus (-) und sehr negative Einschätzung mit zwei Minussen (--) bewertet. Positive Einschätzungen werden mit einem (+) bewertet.

Tabelle 2: Bewertung der Szenarien nach unterschiedlichen Faktoren

Faktoren	Szenario 1: Büro ohne pflanzenartige Lebewesen	Szenario 2: Büro mit einer Pflanzenwand	Szenario 3: Büro mit einem Algenbild
Geruch	neutral (0)	unangenehm (-)	neutral (0)
Pflegeaufwand	keiner (0)	hoch (--)	niedrig (+)
Ressourcenschonung	gegeben (+)	schlecht (--)	mittelmäßig (-)
Bewässerungssystem	keines (0)	schlecht (--)	mittelmäßig (-)
Optik	unlebendig (-)	schlecht (--)	neutral (0)
Größe	keine (0)	120x80x100cm (--)	50x50x5 cm (+)
Luftqualität	gut (+)	zu hohe rh-Werte (--)	gut (+)
Preis	keiner (0)	hoch (--)	niedrig (-)
Summe	+1	-15	0
Entscheidung	Gute Werte, kein Handlungsbedarf	Zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Reduktion der CO ₂ Werte geeignet	Zur Reduktion der CO ₂ Werte geeignet

Szenario 1: Büro ohne pflanzenartige Lebewesen

Die Werte der Luftqualität im Innenraum sind durchweg gut. Keiner der betrachteten Faktoren weist Werte außerhalb der Richtwerte auf. Lediglich die Temperatur liegt etwas unter der Wohlfühltemperatur. Dieser Faktor würde bei Nutzung des Büros durch Menschen relevant werden. Mit Heizkörpern könnte die Temperatur hochgeregelt werden. Dies müsste mit Wasser ausgeglichen werden, damit die Luftfeuchtigkeit im Normbereich bleibt. Ohne Pflanzen bzw. Bilder können Innenräume als unlebendig erlebt werden, deshalb wird dieser Faktor als negativ bewertet. Da keine Ressourcen durch den Einsatz eines Produkts verbraucht werden und sich die Luftqualität im Normbereich befindet, werden beide Werte positiv mit einem Plus bewertet. Die restlichen Werte werden als neutral eingestuft.

Szenario 2: Büro mit einer Pflanzenwand

Der Geruch, der durch die Hydrokulturlpflanzen im circa 25-m² Büro abgegeben wurde, war intensiv und störend. Der Faktor Geruch wird aus diesen Gründen mit einem Minus eingestuft. Eine kontinuierliche Frischluftzufuhr und ein großer Raum sind für einen dauerhaften Einsatz einer Hydrokulturlpflanzenwand empfehlenswert. Nach einem halben Jahr lebten 54 der ursprünglich 112 Pflanzen (48%). Nach acht Monaten und einem Bewegen der Pflanzenwand von einem circa 25-m² Zweierbüro in ein Großraumbüro lebten noch 20 der 112 Pflanzen (18%). Der Faktor Ressourcenschonung wird aufgrund des Pflanzenschwunds als sehr schlecht eingestuft und mit zwei Minussen bewertet. Einige Pflanzen sind vertrocknet, andere ertrunken. Gegossen wurde maximal alle zwei Wochen gemäß den Vorgaben des Verkäufers. Eine dauerhafte Pflege durch Fachpersonal wäre notwendig, ohne zu wissen, ob damit der Pflanzenschwund eingedämmt werden kann. Es haben fünf von etwa zwölf Pflanzensorten im TestszENARIO überlebt. Aus den genannten Gründen werden der Pflegeaufwand und das Bewässerungssystem als sehr hoch eingestuft und mit zwei Minussen bewertet. Die Luftfeuchtigkeit stieg durch den Einsatz der Pflanzenwand auf ein für den Menschen ungesundes Maß. Der Faktor rh wird deshalb als sehr schlecht und mit zwei Minussen eingestuft. Eine kontinuierliche Frischluftzufuhr wäre bei einem dauerhaften Einsatz notwendig, um keine gesundheitlichen Schäden zu verursachen. Der Preis für die Pflanzenwand ist mit knapp 5.000 € als hoch einzustufen und wird deshalb mit zwei Minussen bewertet. Die Größe der Pflanzenwand erfordert mit 120x80x100cm viel Raum und wird ebenfalls mit zwei Minussen eingestuft.

Szenario 3: Büro mit einem Algenbild

Das Algenbild bestehend aus Cyanobakterien ist geruchlos. Es nimmt wenig Platz an der Wand ein, weshalb es mit einem Plus bewertet wird. Außerdem sollte das Algenbild an einem Ort mit indirekter Sonnenlichteinstrahlung platziert werden. Der Pflegeaufwand ist mit einer zwei-wöchentlichen Bewässerung durch destilliertes Wasser ergänzt mit Düngemittel vom Hersteller überschaubar. Der Faktor wird deshalb als neutral eingestuft und mit einem Plus bewertet. Da der Algenfilm bei zwei von drei bezogenen Produkten nach einigen Wochen ausgetauscht werden musste, wird die Ressourcenschonung mittelmäßig eingestuft und wird mit einem Minus bewertet. Das Bewässerungssystem funktioniert aktuell noch nicht bei allen gelieferten Produkten, weshalb der Faktor als mittelmäßig und mit einem Minus eingestuft wird. Die Optik des Produkts ist subjektiv, deshalb wird es als neutral mit dem Wert Null eingestuft. Die Größe des Produkts von 50x50x5 cm und die Tatsache, dass das Bild an der Wand sehr einfach befestigt werden kann, wird mit einem Plus positiv bewertet. Die Luftqualität wird als gut und deshalb mit einem Plus eingestuft, da alle Werte im Normbereich liegen und die CO₂-Werte im Vergleich zum Büro ohne Pflanzen im Maximalbereich gesenkt werden konnten. Der Preis ist im Vergleich zur Pflanzenwand mit 360 € niedrig. Da jedoch Kosten von mehreren Hundert Euro entstehen, wird auch dieser Faktor mit einem Minus bewertet.

Die abschließende Bewertung auf Basis der Erhebung lautet, dass weder Hydrokultur Pflanzenwand noch Cyanobakterien Bild in einem voll ausgestatteten und unbeheizten bzw. belüfteten Zweierbüro zum Einsatz kommen müssten, um die Luftqualität zu verbessern. Das Ergebnis könnte bei hohen Außentemperaturen und Menschen im Raum anders ausfallen.

6. Fazit

In der Erhebung zwischen Januar und März 2022 wurde nachgewiesen, dass der Einsatz einer Hydrokultur Pflanzenwand in einem unbeheizten circa 25 m² Büro zu einem Anstieg der Luftfeuchtigkeit sowie zu einer Reduktion der CO₂-Werte in der Innenraumluft führen. Auch wurde nachgewiesen, dass der Einsatz eines 50x50x5 cm Cyanobakterien Bildes zu niedrigeren CO₂-Werten im Maximalbereich führt als der Einsatz einer Hydrokultur Pflanzenwand von 120x80x100cm.

Mit steigender CO₂-Belastung und damit einhergehender Verminderung der Luftqualität, müssen im Besonderen in Innenstädten und darinstehenden Bürogebäuden Maßnahmen ergriffen werden, um die Qualität der Innenraumluft zu verbessern. Grüne Pflanzen können ein Weg sein, um CO₂ zu binden. In unserem Test schnitt die Algenlösung im Hinblick auf die Luftqualität und die Instandhaltung besser ab.

Aufgrund der Tatsache, dass wenige Pflanzenarten der Hydrokultur Pflanzenwand überlebt haben, liegt die Annahme vor, dass in jedem Testumfeld zuerst unterschiedliche Pflanzenarten getestet werden müssen, bevor eine komplette Wand mit über 100 Pflanzen ausgestattet wird. Das deckt sich mit den Erkenntnissen von Detail (2020). Ein möglicher Folgetest könnte aus heutiger Perspektive die Erhebung der CO₂- und ggf. auch TVOC-Werte im Szenario 3 sein. Es könnten erhöhte Außentemperaturen und arbeitenden Menschen im Raum mit bzw. ohne Frischluftzufuhr betrachtet werden.

Da durch Frischluftzufuhr die Außenluftqualität auch die Innenraumluftqualität bedingt, macht es zukünftig Sinn auch Luftsensoren im Außenbereich anzubringen. Ein Testszenario, indem das Pflanzen von Bäumen gegen den Einsatz eines Algentowers gehalten wird und die Verbesserung der Luftqualität in durch Feinstaub bestasteten Innenstädten getestet wird, erscheint aus heutiger Perspektive sinnvoll. Zu einer ähnlichen Einsicht kommen Dreßler et al. (2022).

7. Literaturverzeichnis

Breeze Technologies (2022): Portal, [online] <http://portal.breeze-technologies.de/login> [06.04.2022].

Chemie (2022): Kohlenstoffdioxid, [online] <https://www.chemie.de/lexikon/Kohlenstoffdioxid.html> [17.05.2022].

Chemie Lexikon (2022a): Innenraumlufte, [online] <https://www.chemie.de/lexikon/Innenraumlufte.html> [06.04.2022].

Chemie Lexikon (2022b): Luftfeuchtigkeit, [online] <https://www.chemie.de/lexikon/Luftfeuchtigkeit.html> [06.04.2022].

CiK Solutions (2022): Kohlenstoffdioxid in Räumen messen und überwachen, [online] <https://www.cik-solutions.com/anwendungen/CO2-im-innenraum/> [06.04.2022].

Detail (2020): Kö-Bogen II in Düsseldorf – Gebäudehülle aus 30 000 Pflanzen, [online] https://www.detail.de/de/de_de/autos-zu-hainbuchen-ingenhoven-fk [27.04.2022].

Dreßler, Hannes; Chanaa, Marcel; Sprock, Nils Florian; Schmidt, Franz-Josef (2022): *Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur Messung der Kohlenstoffdioxidfixierung von Algen Untersuchung der Eignung von Microalgen zur dauerhaften Fixierung von CO₂. Abschlussarbeit im ASQ-Modul „Problemlösendes Denken und Prototyping“*, Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität.

Falkenberg, Haike (2012): *Gärten in Häusern: Entwurf und Konstruktion von Grünräumen in privaten und öffentlichen Gebäuden*, Berlin: Walter de Gruyter.

Fraunhofer IAQIP (2022): Kohlenstoffdioxid in Klassenräumen, [online] <https://iaqip.wiki.fraunhofer.de/de/themen/CO2-rechner.html> [06.04.2022].

Gartenlexikon (2022): Hydrokultur, [online] <https://www.gartenlexikon.de/hydrokultur/> [10.05.2022].

HeidelbergCement (2022): Algenzucht mit CO₂, [online] <https://context.heidelbergcement.com/algenzucht-mit-CO2/> [06.04.2022].

IBO (2022): Innenraumlufte-Info: Luftmengen – Luftfeuchte, [online] http://www.raumlufte.org/fileadmin/dokumente/raumlufte.org_-_Info_Luftmenge.pdf [27.04.2022].

Irga, Peter (2012). *Development of hydroculture plants for the improvement of indoor air quality* (Doktorarbeit), Sydney: University of Technology.

Irga, Peter; Torpy, Fraser; R., & Burchett, Margaret D. (2013): Can hydroculture be used to enhance the performance of indoor plants for the removal of air pollutants?, *Atmospheric environment*, 77, 267-271.

IW Köln (2022): dena-STUDIE Büroimmobilien, [online] https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2017/342693/Studie_IW_Koeln_dena_Bueroimmobilien_Energieeffizienz.pdf [06.04.2022].

Jander, Franziska (2001): *Massenkultur von Mikroalgen mit pharmazeutisch nutzbaren Inhaltsstoffen unter Verwendung von CO₂ und NaHCO₃, gewonnen aus den Abgasen eines Blockheizkraftwerkes* (Doktorarbeit), Kiel: Christian-Albrechts-Universität.

Paciência, I.; Madureira, J.; Rufo, J.; Moreira, A.; Fernandes, E. D. O. (2016): A systematic review of evidence and implications of spatial and seasonal variations of volatile organic compounds (VOC) in indoor human environments, *Journal of Toxicology Environmental Health, Part B*, 192, 47-64.

Pegas, P. N.; Nunes, T.; Alves, C. A.; Silva, J. R.; Vieira, S. L. A.; Caseiro, A. und Pio, C. A. (2012): Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal, *Atmospheric Environment*, 55, 80-89.

Sarigiannis, Dimosthenis A. (2013): Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments. *WHO report for Europe*.

Seifert, Bernd (1999): Richtwerte für die Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 42, 270-27.

Solaga (2022): Das Algenbild - weil unsere Zukunft grün ist, [online] <https://www.solaga.de/alwe/> [06.04.2022].

Spektrum (2022a): Hydrokultur, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hydrokultur/33077> [10.05.2022].

Spektrum (2022b): Cyanobakterien, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/cyanobakterien/16137> [17.05.2022].

Spektrum (2022c): Prokaryoten, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/prokaryoten/53922> [23.05.2022].

Umweltbundesamt (2008): Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 51, 1358-1369.

Umweltbundesamt (2020): Heizen, Raumtemperatur, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#gewusst-wie> [27.04.2022].

Umweltbundesamt (2021): Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR): Hygienische Leitwerte für die Innenraumluft, [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/bilder/dateien/hygienische_leitwerte.pdf [27.04.2022].

Umweltbundesamt (2022a): Definition von Innenraum, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#definition-von-innenraum> [06.04.2022].

Umweltbundesamt (2022b): Ausschuss für Innenraumwerte, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#hygienische-leitwerte> [27.04.2022].

Umweltbundesamt (2022c): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050, [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06_climate-change_26-2017_klimaneutraler-gebaeudebestand-ii.pdf [17.05.2022].

WHO (2022) : WHO verweist in neuem Bericht auf ungleiche gesundheitliche Fortschritte in Europa und fordert zur Messung des Fortschritts eine genauere Erfassung des Wohlbefindens, [online] <https://www.euro.who.int/de/media-centre/sections/press-releases/2013/03/new-who-report-reveals-unequal-improvements-in-health-in-europe-and-calls-for-measurement-of-well-being-as-marker-of-progress> [06.04.2022].