

Literatuurstudie effect van CO₂ op cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort en beleving, en absentie

TNO 2024 R11626-REV1 – 3 maart 2025

Literatuurstudie effect van CO₂ op cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort en beleving, en absentie

Auteurs	Ir. A. de Lange Dr. R. Traversari, MBA Dr.ir. K. Kompatscher ing. N. Egter van Wissekerke
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public
Rapporttekst	TNO Public TNO Public
Aantal pagina's	30 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	1
Projectnummer	060.52670/ 060.51323

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Samenvatting

Er zijn studies en richtlijnen die aan de absolute CO₂-concentratie in een ruimte een gezondheidseffect toeschrijven zoals leerprestaties, productiviteit en comfortbeleving. Er is echter veel onduidelijkheid over het effect van een CO₂-concentratie in een ruimte op 1) de cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters, 3) comfort, beleving en klachten en 4) absentie en ziekte. Een scoping review is uitgevoerd om op systematische wijze de beschikbare literatuur te verzamelen en te analyseren om meer duidelijkheid te krijgen over het effect van een CO₂-concentratie in een ruimte op de aangegeven vier aspecten. De resultaten uit deze studies laten zien dat er geen eenduidig antwoord is op de vraag of en in welke mate er een effect is van een CO₂-concentratie in een ruimte op 1) de cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters, 3) comfort, beleving en klachten en 4) absentie en ziekte. Het is daarom niet met zekerheid aan te geven dat de CO₂-concentratie hier een effect op heeft. Dit wordt veroorzaakt doordat de meeste studies a) geen rekening houden met versturende factoren, b) de blootstellingsduur vaak relatief kort was en c) vragenlijsten meestal een lange periode besloegen (enkele weken) terwijl de CO₂-concentratie over een relatief korte periode (enkele uren) was gemeten. Hier worden echter wel uitspraken over gedaan.

Dit betreft een revisie van rapport TNO 2024 R11626 van 4 september 2024. Er zijn op basis van commentaren twee studies toegevoegd in tabel 1 (Allen et al. 2016 en Bakó-Biró et al. 2012). Deze studies waren met de gebruikte zoektermen niet gevonden. Na analyse is gebleken dat deze studies de conclusies van de studie echter niet hebben veranderd. Daarnaast is het rapport op punten verduidelijkt en is een bijlage toegevoegd met de gebruikte checklist om de kwaliteit van de studies te bepalen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	5
2 Methode	6
2.1 Zoektermen	6
2.2 Inclusie- en exclusiecriteria	6
2.3 Kwaliteit van bewijs	7
2.4 Dataverwerking	7
3 Resultaten	8
3.1 Overzichtstabellen literatuur	9
4 Discussie	21
5 Conclusie	24
6 Literatuur	25
Ondertekening.....	29
Bijlage	
Bijlage A: JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR ANALYTICAL CROSS SECTIONAL STUDIES	30

1 Inleiding

De CO₂-concentratie in een ruimte wordt vaak gebruikt als indicator c.q. voorspeller van de hoeveelheid vers toegevoerde lucht. In een ruimte kunnen echter ook andere verontreinigingen aanwezig zijn. Ook kunnen verontreinigingen via de toevoer van verse buitenlucht aan een ruimte worden toegevoerd. Deze aspecten vallen buiten de scope van dit onderzoek. Indien wordt uitgegaan van een gewenste hoeveelheid verse lucht per persoon en een CO₂-emissie per persoon gerelateerd aan het metabolisme, dan kan dit worden omgerekend in een maximaal aanvaardbare CO₂-concentratie in de ruimte. Er zijn echter ook studies en richtlijnen die aan de absolute CO₂-concentratie in een ruimte een (o.a. gezondheids-)effect toeschrijven zoals hoofdpijn, leerprestaties, productiviteit en comfortbeleving. Er is echter veel onduidelijkheid over het effect van CO₂ op 1) de cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters, 3) comfort en beleving, en 4) absentie en ziekte. In deze literatuurstudie is de volgende onderzoeksvraag beantwoord.

Is er een effect van de absolute CO₂-concentratie op 1) cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters, 3) comfort, beleving en klachten en 4) absentie en ziekte?

Deze studie is uitgevoerd vanuit de programma's Clean Air for Everyone (CLAIRE) en Programma Pandemische paraatheid door ventilatie (P3Venti). CLAIRE is mede mogelijk gemaakt door Health~Holland, Topsector Life Sciences & Health, via het Private-Public Partnership (PPP) Allowance Programma Health~Holland. P3Venti is een programma dat wordt gecoördineerd door TNO en wordt gefinancierd vanuit het programma pandemische paraatheid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS).

2 Methode

De literatuurstudie is uitgevoerd als een scoping review.^{1,2} Een scoping review wordt gebruikt om op systematische wijze de beschikbare literatuur over een bepaald onderwerp te verzamelen. Hiermee kunnen theorieën, bewijzen en kennislacunes worden geïdentificeerd.

2.1 Zoektermen

Elke literatuurstudie begint met het definiëren van zoektermen. In de databases van Scopus en PubMed zijn de volgende zoekstrings gebruikt voor een *titel-abstract-keywords* zoekopdracht:

- Scopus: (human) AND (“indoor*” OR “school*” OR “submarine*” OR “space station*” OR “confined space*” OR “clean room*”) AND (“co2” OR “carbon dioxide” OR “carbon dioxide concentration*”) AND (“physiological effects” OR “illness” OR “symptoms” OR “cognitive” OR “behavior” OR “physical abilities” OR “cognitive abilities” OR “mental performance” OR “adverse effect” OR “adverse health effect” OR “health” OR “health effect” OR “psychomotor performance” OR “toxic*” OR “inflamm*”) AND (“air” OR “ambient” OR “ambient air” OR “concentration” OR “concentration limit*” OR “health standard*” OR “guideline” OR “standard” OR “health requirement*” OR exposure) AND NOT (“energy” OR “sustainab*” OR “emission*”);
- PubMed: (("CO2 concentrations" OR "carbon dioxide concentrations") AND ("health effects" OR "adverse effects" OR "physiological effects" OR "cognitive effects")) AND ("air" OR "ambient air" OR "indoor air").

De eerste sectie bestaat uit termen die de toepassingsomgeving omschrijven. Termen als ‘submarine’, ‘space station’ en ‘clean room’ lijken zoektermen die weinig met gebouwen te maken hebben maar in deze sectoren is gebleken dat er veel onderzoek is dat kijkt naar verhoogde o.a. CO₂-niveaus en mogelijke gezondheidseffecten. Als blijkt dat de toepassing erg afwijkt van wat er voorkomt in de gebouwde omgeving is de studie alsnog geëxcludeerd. Zie hiervoor ook onderstaande in- en exclusiecriteria.

2.2 Inclusie- en exclusiecriteria

Op basis van inclusie- en exclusiecriteria is de lijst van gevonden literatuur op titel en abstract beoordeeld en enkel geïnccludeerde publicaties zijn volledig bestudeerd. De volgende criteria zijn gehanteerd in de selectie van studies.

Inclusiecriteria	Exclusiecriteria
Publicatie is Nederlands of Engels	Publicatie legt geen link tussen CO ₂ en 1) <i>cognitieve prestaties</i> , 2) <i>fysiologische parameters</i> , 3) <i>comfort</i> , <i>beleving of klachten</i> of 4) <i>absentie of ziekte</i>
Publicatie is peer reviewed	Publicatie is niet gebouw gerelateerd Publicatie betreft geen humane studie

2.3 Kwaliteit van bewijs

Van alle geïnccludeerde studies is de kwaliteit van het bewijs door twee reviewers beoordeeld aan de hand van een checklist voor *analytical cross sectional* studies, zie Bijlage A.³ Indien op alle vragen uit de checklist 'ja' is aangegeven wordt de studie beoordeeld met een 4 (hoge bewijslast). Voor iedere vraag die met 'nee' of 'niet duidelijk' wordt beantwoord wordt de hoogste score 4 (hoge bewijslast) met één punt verlaagd tot het minimale niveau van een score 1 (zeer lage bewijslast). Een score 2 betekent lage bewijslast en een score 3 een redelijke bewijslast. De kwaliteit van het bewijs is gebruikt bij de weging van de resultaten uit de geïnccludeerde studies om tot een conclusie te komen.

Na het reviewen van de volledige publicaties zijn deze ingedeeld in de aspecten 1) cognitieve prestaties, 2) fysiologische effecten 3) comfort, beleving en klachten en 4) absentie en ziekte. Onder cognitieve prestaties vallen de prestaties van proefpersonen op basis van een uitgevoerde test. Dat kan zowel onder laboratoriumomstandigheden als onder praktijkomstandigheden zijn uitgevoerd. Hieronder vallen o.a. geheugentesten, concentratietesten en reactiesnelheid. Onder de fysiologische effecten vallen experimenten waarbij o.a. bloeddruk, hartslag, elektro-encefalogram (EEG) activiteit en bloedwaarden zoals pH en O₂-gehalte die zijn vastgesteld bij proefpersonen. De comfortbeleving valt uiteen in aspecten die veelal via enquêtes en vragenlijsten zijn bepaald waaronder hoofdpijn, droge slijmvliezen en ogen, concentratieproblemen en ademhalingsproblemen. Absentie en ziekte wordt onderzocht aan de hand van aanwezigheidsdata en ziekmeldingen in school- en kantooromgevingen.

Alle resultaten op de gedefinieerde aspecten uit de studies zijn in de beoordeling betrokken. Ook als er geen *odds ratios* (OR) konden worden vastgesteld op basis van de gepresenteerde resultaten.⁴ Dit om zo breed mogelijk te onderzoeken en te voorkomen dat er bias ontstaat.

In een studie met hoge kwaliteit van de bewijslast zou minimaal rekening gehouden moeten zijn met:

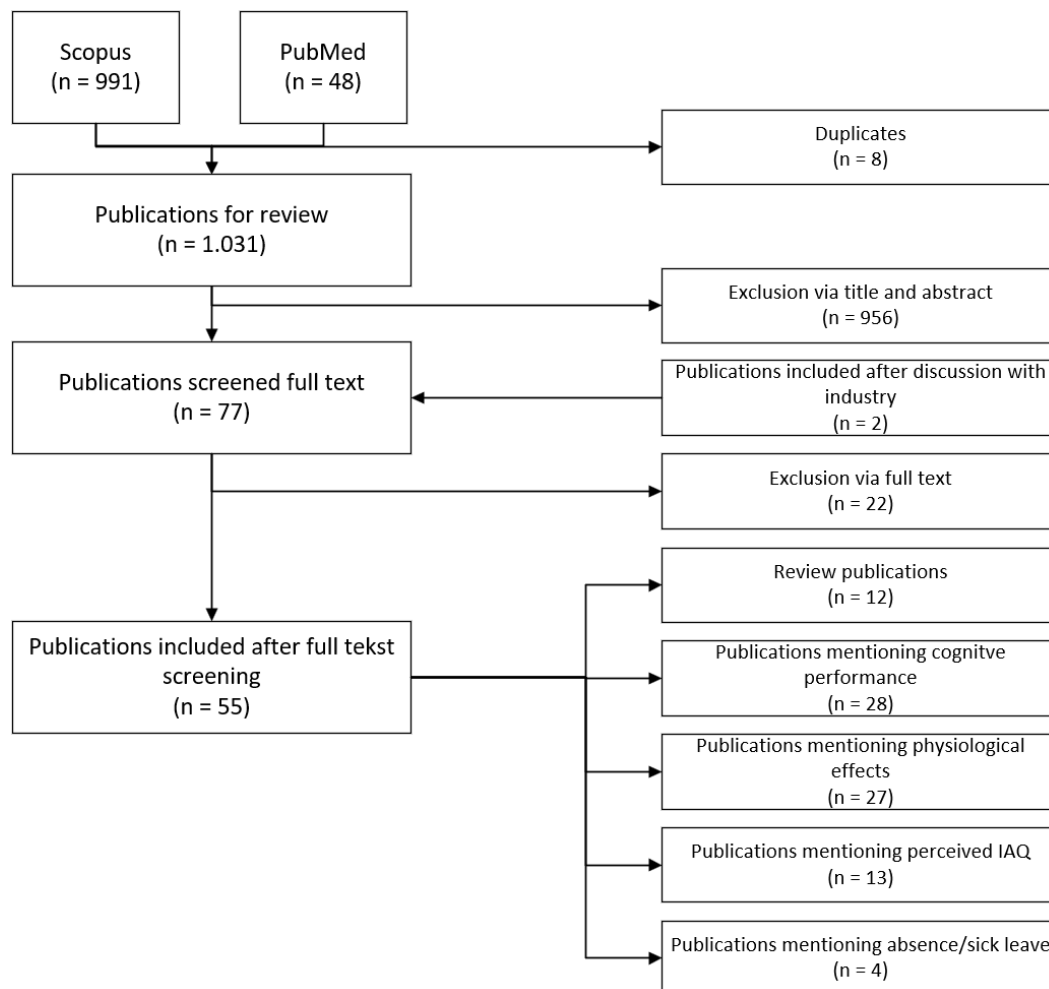
- alle mogelijke verstorende factoren en exact bekend moeten zijn waaraan personen allemaal bloot zijn gesteld rondom de experimenten (confounders),
- zou er bij experimenten altijd met een goede controlegroep moeten worden gewerkt,
- moet de periode waarover de blootstelling aan CO₂-concentratie is gemeten gelijk moeten zijn met de periode waarvoor het effect op de uitkomstmaten is bepaald,
- moet het aantal mensen die betrokken zijn in de studie van voldoende omvang zijn.

2.4 Dataverwerking

De effecten van de CO₂-concentratie op de verschillende aspecten (cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort, beleving en klachten en absentie en ziekte) in de geïnccludeerde studies zijn in tabellen opgenomen. Op basis van deze resultaten en de kwaliteit van de bewijslast van de verschillende studies zijn uitkomsten verkregen. Deze worden in de discussiesectie behandeld.

3 Resultaten

Met de in paragraaf 2.1 gegeven zoekstrings zijn in Scopus en Pubmed respectievelijk 991 en 48 publicaties gevonden, zie Figuur 1. Als eerste stap zijn de duplicaten ($n = 8$) geïdentificeerd en in de studie eenmaal beschouwd. Deze gevonden literatuur is als tweede stap beoordeeld op basis van titel en samenvatting om te beoordelen of de gevonden literatuur betrekking heeft op de aspecten 1) cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters 3) comfort, beleving of klachten of 4) absentie of ziekte. Ook is daarbij beschouwd of het humane studies betrof. Studies die hier geen relatie mee hadden zijn geëxcludeerd ($n = 956$). Als derde stap zijn de resterende studies volledig gelezen ($n = 75$) en waar van toepassing alsnog geëxcludeerd op basis van de exclusiecriteria ($n = 22$). Uit een discussie op 2 oktober 2024 is vanuit de sector een mogelijkheid geweest om extra onderzoek aan te leveren. Hieruit zijn nog 2 publicaties aangedragen welke niet zijn geïncorporeerd in de originele zoektocht. Dit kan komen door het gebruik van andere zoektermen waardoor deze publicaties niet meegenomen worden, het totaal volledig gelezen publicaties is 77. Van de overige studies ($n = 55$) is de kwaliteit van de bewijslast beoordeeld en zijn de resultaten uit de studies geëxtraheerd en onderverdeeld naar de vier aspecten. Indien een studie meerdere aspecten beslaat is deze studie opgenomen bij de verschillende relevante onderwerpen.



Figuur 1. Prisma diagram voor beschouwde publicaties. Een aantal studies beschrijven meerdere aspecten, in die situatie is de studie bij meerdere aspecten opgenomen in de aantallen (n).

3.1 Overzichtstabellen literatuur

In de onderstaande tabellen zijn de resultaten per onderwerp samengevat (Tabel 1- Tabel 5). Per tabel is de bron, het jaar van publicatie, het type studie, de onderzochte CO₂-niveaus, de mogelijke effecten en de kwaliteit van het bewijs weergegeven. Onder het studietype valt of het om een review, een laboratorium- of een praktijkstudie gaat. De mogelijke effecten verschillen per onderwerp en beschouwde literatuur. De mogelijke effecten op cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort, beleving en klachten alsmede ziekte en absentie zijn onderverdeeld in 1) er is een effect en dat is significant (✓ groen), 2) er is een effect maar niet significant (✓/✗ geel), en 3) er is geen effect (✗ oranje). De kwaliteit van het bewijs is bepaald op basis van de in paragraaf 2.3 beschreven methode, in Bijlage A staat de volledige checklist.

Tabel 1. Overzicht beschouwde studies met mogelijke effecten van CO₂-concentratie op cognitieve prestaties.

Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Cognitive performance			Quality of the evidence
				Performance of complex tasks	Concentration and decision-making	Task load or mental effort	
Xie et al. ⁵	2024	L	1.000 3.500 5.500 7.000 8.500 10.00	✓/✗			4
Salthammer et al. ⁶	2016	R	1.000 2.500	✓/✗	✓/✗		4
Wang et al. ⁷	2024	L	800 1.800 3.500	✓		✓	3
Maniscalco et al. ⁸	2022	L	770 20.000	✗	✗		3
Zhang et al. ⁹	2017	L	500 1.000 3.000	✗			3
Allen et al. ¹⁰	2016	L	550 945 1.400	✓	✓	✓	3
Satish et al. ¹¹	2012	L	600 1.000 2.500	✓	✓		3
Hurley et al. ¹²	2023	L	800 29.000	✗		✗	2
Klausen et al. ¹³	2023	L	700 3.000	✗			2
Fan et al. ¹⁴	2023	R	1.000	✓			2

Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Cognitive performance			Quality of the evidence
				Performance of complex tasks	Concentration and decision-making	Task load or mental effort	
			1.500 3.000 5.000				
Lee et al. ¹⁵	2022	L	530 1.056 2.657	✓/✗	✓/✗	✓/✗	2
Pang et al. ¹⁶	2021	L	1.500 3.500 5.000	✓			2
Tu et al. ¹⁷	2021	L	8.000 10.000 12.000	✓		✓	2
Allen et al. ¹⁸	2019	L	700 1.500 2.500	✓			2
Dorizas et al. ¹⁹	2015	P	I: 1.000-2.150 II: 750-1.950		✓		2
Bakó-Biró et al. ²⁰	2012	P	500 – 5.000		✓		2
Hang et al. ²¹	2022	R	500 - 5.000	✓/✗			1
Wu et al. ²²	2021	L	500 - 900	✗			1
Du et al. ²³	2020	R	N/A	✓/✗	✓/✗		1
Azuma et al. ²⁴	2017	R	500 - 5.000		✓/✗		1

Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Cognitive performance			Quality of the evidence
				Performance of complex tasks	Concentration and decision-making	Task load or mental effort	
Kraus et al. ²⁵	2017	R	350 720 1.840	✓/✗	✓/✗		1
Ferreira et al. ²⁶	2014	P	1.578 ±712		✓/✗		1
Tsai et al. ²⁷	2012	P	400 - 915		✓		1
Kajtár et al. ²⁸	2006	L	600 1.500 2.500 3.000 4.000 5.000			✓/✗	1
Yang et al. ²⁹	1997	L	0,3% - 2.5%	✓		✓/✗	1

✓	Significant effect
✗	No effect
✓/ ✗	Effect but not significant
L	Studie performed in laboratory, controlled environment/setting
P	Study performed in actual real setting
R	Review study
Bold/italic value	Effect valid for bold CO ₂ -concentrations

Tabel 2. Overzicht beschouwde studies met mogelijke effecten van CO₂-concentratie op fysiologische effecten.

Physiological effects									
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on					Quality of the evidence
				Blood-pressure and heart rate	Blood levels	Brain activity (EEG)	Respiratory health	Eye irritation	
Xie et al. ⁵	2024	L	1.000 3.500 5.500 7.000 8.500 10.000	✓	✗	✗			4
Maniscalco et al. ⁸	2022	L	770 20.000	✓/✗	✓			✗	3
Mishra et al. ³⁰	2021	L	900 1.450				✗		3
Jung et al. ³¹	2016	P	464 - 1.193	✗	✗				3
Norbäck et al. ³²	2013	P	Variable flow: mean 784 Constant flow: mean 809				✗	✗	3
Tu et al. ¹⁷	2021	L	8.000 10.000	✓	✗				2

Physiological effects								
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on				
				Blood-pressure and heart rate	Blood levels	Brain activity (EEG)	Respiratory health	Eye irritation
			12.000					
Shriram et al. ³³	2019	L	380 1.000 2.000 3.000		x		✓	2
Li et al. ³⁴	2018	L	450 5.000 8.000 12.000	x				2
Zhang et al. ³⁵	2017	L	500 1.000 3.000	✓	x		x	2
Fink et al. ³⁶	2017	P	400 - 950	x			x	2
Vehviläinen et al. ³⁷	2016	P	500-5.000 500-1.500	✓/ x	✓			✓/ x 2
Dorizas et al. ¹⁹	2015	P	I: 1.000-2.150 II: 750-1.950				✓	2
Simoni et al. ³⁸	2010	P	525 - 3.475				✓	2

Physiological effects									
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on					Quality of the evidence
				Blood-pressure and heart rate	Blood levels	Brain activity (EEG)	Respiratory health	Eye irritation	
Erdmann et al. ³⁹	2004	P	40 - 610				✓	✓	2
Kim et al. ⁴⁰	2018	L	<1.000 >2.000	✓					1
Arikan et al. ⁴¹	2018	P	28 - 559				✓/✗		1
Azuma et al. ²⁴	2017	R	500 - 5.000	✓/✗	✓/✗				1
Lu et al. ⁴²	2015	P	500 - 2.800				✓	✓	1
Carreiro-Martins et al. ⁴³	2014	P	I: (P25)1.085 (P75)1970 II: (P25) 770 (P75)1.536				✓		1
Ferreira et al. ²⁶	2014	P	1.578 ±712				✗		1
Tsai et al. ²⁷	2012	P	400 - 915				✓	✓	1

Physiological effects								
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on				
				Blood-pressure and heart rate	Blood levels	Brain activity (EEG)	Respiratory health	Eye irritation
Fuentes-Leonarte et al. ⁴⁴	2009	P	Mean: 1.358 Maximum: 2.327				✓	
Kajtár et al. ²⁸	2006	L	600	✗			✓	1
			1.500					
			2.500					
			3.000					
			4.000					
			5.000					
Apte et al. ⁴⁵	2000	P	6				✓	✓
			-					
			418					

✓

Significant effect

✗

No effect

✓/ ✗

Effect but not significant

L

Studie performed in laboratory, controlled environment/setting

P

Study performed in actual real setting

R

Review study

Bold/italic value

Effect valid for bold CO₂-concentrations

Tabel 3. Overzicht beschouwde studies met mogelijke effecten van CO₂-concentratie op comfort, beleving en klachten.

Comfort, experience and complaints								
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on				Quality of the evidence
				Headache, dizziness	Fatigue, loss of concentration	Comfort (thermal comfort), perceived air quality	Mood disturbance	
Xie et al. ⁵	2024	L	1.000 3.500 5.500 7.000 8.500 10.000		✓/ ✗		✓	4
Wang et al. ⁷	2024	L	800 1.800 3.500		✓/ ✗	✓/ ✗		3
Zhang et al. ⁹	2017	L	500 1.000 3.000	✗	✗	✗	✗	3
Law et al. ⁴⁶	2014	P	Mean: +/- 4 mm HG → 5.333 ppm	✓(headache)				3
Norbäck et al. ³²	2013	P	Variable flow: mean 784 Constant flow: mean 809	✓	✓	✓		3
Pang et al. ¹⁶	2021	L	1.500 3.500 5.000		✓/ ✗		✗	2
Tu et al. ¹⁷	2021	L	8.000 10.000 12.000	✓	✓	✓	✓	2

Comfort, experience and complaints								
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on				Quality of the evidence
				Headache, dizziness	Fatigue, loss of concentration	Comfort (thermal comfort), perceived air quality	Mood disturbance	
Korsavi et al. ⁴⁷	2021	P	662 - 3.277		✓	✓		2
Tu et al. ⁴⁸	2020	L	8.000 12.000	✓(dizziness)	✓/ ✗		✓	2
Li et al. ³⁴	2018	L	450 5.000 8.000 12.000	✓		✓		2
Vehviläinen et al. ³⁷	2016	P	500-5.000 500-1.500	✓/ ✗	✓			2
Muscatello et al. ⁴⁹	2015	P	352 - 1.591	✓	✓			2
Tsai et al. ²⁷	2012	P	400 - 915	✓/ ✗	✗(loss of concentration)		✗	2
Daisey et al. ⁵⁰	2003	R	1.500 - 4.000	✓/ ✗	✓/ ✗			2
Wu et al. ²²	2021	L	500 - 900			✓		1
Arikan et al. ⁴¹	2018	P	28 -	✓/ ✗	✓/ ✗	✓		1

Comfort, experience and complaints								
Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Effect on			Quality of the evidence	
				Headache, dizziness	Fatigue, loss of concentration	Comfort (thermal comfort), perceived air quality Mood disturbance		
Kraus et al. ²⁵	2017	P	559				1	
			350					
			720		✓/ ✗			
			1.840					
Liu et al. ⁵¹	2015	L	380		✗	✗	✗	1
			3.000					
Lu et al. ⁴²	2015	P	500		✓			1
			-	✓				
James et al. ⁵²	2007	R	2.800					1
			N/A	✓/ ✗		✓/ ✗		
Kajtár et al. ²⁸	2006	L	600					1
			1.500					
			2.500		✓	✓		
			3.000					
			4.000					
			5.000					

✓	Significant effect
✗	No effect
✓/ ✗	Effect but not significant
L	Studie performed in laboratory, controlled environment/setting
P	Study performed in actual real setting
R	Review study
<i>Bold/italic value</i>	Effect valid for bold CO ₂ -concentrations

Tabel 4. Overzicht beschouwde studies met mogelijke effecten van CO₂-concentratie op absentie en ziekte.

Source	Year of publication	Study type	CO ₂ levels (ppm)	Absence/ illness	Quality of the evidence
				Effect on Absence	
Shendell et al. ⁵³	2004	P	10 - 4230	✓	2
Gaihre et al. ⁵⁴	2014	P	1065 - 4093	✗	1
Myatt et al. ⁵⁵	2002	P	I: 324-497 II: 327-549	✗ ¹	1

✓	Significant effect
✗	No effect
P	Study performed in actual real setting

Tabel 5. Overzicht publicaties die literatuurstudies betreffen.

Literature reviews			
Source	Year of publication	Category	Quality of evidence
Fan et al. ¹⁴	2023	Cognitive effects	2
Huang et al. ²¹	2022	Cognitive effects	1
Lowther et al. ⁵⁶	2021	Physiological effects	4
Du et al. ²³	2020	Cognitive effects	1
Jacobsen et al. ⁵⁷	2019	Physiological effects	3
Azuma et al. ²⁴	2017	Physiological effects	1
Salthammer et al. ⁶	2016	Cognitive effects	4
Ahmed Abdul-Wahab et al. ⁵⁸	2015	-	4
Fuentes-Leonarte et al. ⁴⁴	2009	Physiological effects	1
James et al. ⁵²	2007	Physiological effects	1
Daisey et al. ⁵⁰	2003	Comfort/experience/complaints	2
Seppänen et al. ⁵⁹	1999	Physiological effects	4

¹ In de studie is afwezigheid door ziekte benoemd. In de tabel is dit meegenomen als absentie.

4 Discussie

De tabellen in paragraaf 3.1 geven een goed overzicht van de gevonden en beschouwde studies en het effect dat wel of niet is gevonden tussen onderzochte CO₂-niveaus en cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort, beleving of klachten en afwezigheid en ziekte. Uit deze tabellen volgt dat er per aspect studies zijn gevonden die een significant effect hebben gevonden tussen het CO₂-niveau en cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort, beleving en klachten en ziekte en afwezigheid. De kwaliteit van bewijs van deze studies wisselt sterk. Studies met een kwaliteit van bewijs van 1 (zeer lage bewijslast) en 2 (lage bewijslast) hebben minder zeggingskracht dan studies met een kwaliteit van bewijs van 3 (redelijke bewijskracht) of 4 (hoge bewijslast). In onderstaande tabel is aangegeven hoeveel van de gevonden studies een kwaliteit van bewijs score ≥ 3 (redelijke bewijskracht) hebben.

Tabel 6. Per aspect: het aantal gevonden publicaties met een significant effect (2^e kolom), geen significant effect (4^e kolom) en voor deze twee groepen het aantal publicaties met een redelijke en goede kwaliteit van bewijs (≥ 3) per onderzocht aspect (3^e en 5^e kolom).

	Significant effect	Goede kwaliteit van bewijs (≥ 3) studies met significant effect	Geen effect	Goede kwaliteit van bewijs (≥ 3) studies met geen effect
<i>Cognitieve prestaties</i>	9/23	2/9	5/23	2/5
<i>Fysiologische parameters</i>	16/24	2/16	12/24	5/12
<i>Comfort, beleving en klachten</i>	13/21	3/13	4/21	1/4
<i>Afwezigheid en ziekte</i>	1/3	0/1	2/3	0/2

Uit de tabel blijkt dat ondanks dat er gezondheidseffecten zijn waar een significant effect wordt aangetoond, er voor slechts enkele van die studies geldt dat de kwaliteit van de bewijslast voor deze studie als kwalitatief redelijk tot hoog (score ≥ 3) wordt aangetoond. Andersom geldt ook dat voor aspecten waarvoor geen significant effect is aangetoond, er enkele studies zijn die een hoge kwaliteit van bewijs hebben. Dit ondersteunt dat er geen effect is geconstateerd.

Voor het aspect Cognitieve prestaties zijn vier studies gevonden met een goede kwaliteit van bewijs.^{7,8,11,35} Zo wordt een significant effect gevonden voor CO₂-concentraties variërend van 600-3.500 ppm voor het uitvoeren van complexe taken, werkdruk en mentale inspanning⁷, en concentratie en het maken van beslissingen.¹¹ Echter, deze effecten worden ook als niet significant aangetoond voor CO₂-concentraties variërend van 500-20.000 ppm in de andere beschouwde studies^{8,35} met redelijke en goede kwaliteit van bewijs (≥ 3).

Voor het aspect Fysiologische parameters zijn twee studies beoordeeld met redelijke of goede kwaliteit van bewijs (score ≥ 3) en een significant effect op de bloeddruk⁵ en bloedwaarden⁸ voor CO₂-concentraties variërend van 770-20.000 ppm. Geen significante effecten zijn gevonden voor o.a. parameters zoals hersenactiviteit (1.000-5.500 ppm)⁵, luchtwegen (784-1.450 ppm)^{30,32} en oogirritaties (784-20.000 ppm)^{8,32}. Ook niet-significante

effecten zijn gevonden voor bloeddruk en bloedwaarden waardoor deze fysiologische parameters niet eenduidig aantonen dat er een effect van bepaalde CO₂-concentraties op de gevonden fysiologische parameters is.

Het aspect Comfort, beleving en klachten heeft drie publicaties opgeleverd welke een effect aantonen tussen CO₂-concentratie en hoofdpijn/duizeligheid (784, 809, 5.333 ppm)^{32,46}, vermoeidheid en concentratieverlies (784, 809 ppm)³², comfortbeleving (784-809 ppm)³² en stemmingsstoornis (7.000-10.000 ppm)⁵. Daartegenover staat de studie van Zhang et al. (2017) die op al deze genoemde variabelen geen significant effect aantoonde voor CO₂-concentraties 500-3.000 ppm.³⁵ Voor dit aspect lijkt geen consensus te zijn als het gaat om een aangetoond effect tussen CO₂-concentraties en comfort, beleving en klachten op basis van de beschouwde literatuur.

Voor absentie en ziekte is geen studie gevonden met een goede kwaliteit van bewijs voor zowel gevonden significante effecten als afwezigheid van effecten. De CO₂-concentratie lijkt daarom geen enkel effect op dit aspect te hebben.

Uit de beschouwde studies blijkt dat er vaak meerdere indicatoren worden onderzocht en dat de conclusie enkel over een mogelijk effect van de CO₂-concentratie op een bepaald aspect gaat. Zo wordt er bijvoorbeeld een link gelegd tussen lichtniveau en hoofdpijn/duizeligheid en stemmingswisselingen onder bepaalde CO₂-concentraties en wordt het effect uiteindelijk toegeschreven aan CO₂.¹⁷ CO₂ samen met bioeffluenten^{13,60}, fijnstof^{22,27,38}, VOC⁴² of een combinatie hiervan^{10,19,26,36} kan niet los beschouwd worden omdat het effect aan zowel CO₂ als andere omgevingsonafhankelijke parameters kan worden toegeschreven; de studies maken het onderscheid niet duidelijk. In deze studies lijkt het dus te gaan over een correlatie tussen CO₂ en een bepaald aspect waarbij er een causaal verband (oorzaak-gevolg) wordt geïnterpreteerd. Geen van de studies noemt de mate van effect van CO₂-niveau of de andere onderdelen op cognitieve prestaties, fysiologische parameters, comfort, beleving en klachten en absentie en ziekte.

Literatuurreviews (zie Tabel 5) met een hoge kwaliteit van bewijs (studies waarvan de resultaten in hoge mate reproduceerbaar zijn en er rekening is gehouden met belemmerende factoren volgens Bijlage A) zijn meegenomen in de studie en publicaties uit deze reviews zijn meegenomen in de tabellen als er een effect was gevonden van de CO₂-concentratie op een van de onderzochte aspecten.^{56-59,61} Deze vorm van de sneeuwbal methode zorgde voor enkele publicaties die met de gebruikte zoektermen niet naar voren waren gekomen.^{56,58,59,61} De resultaten zijn opgenomen in Tabel 1 t/m Tabel 4.

Er zijn studies beschouwd met een laag aantal deelnemers ($n \leq 12$)^{29,33,37,51} of waarbij de deelnemers gevraagd werd naar symptomen tijdens een experiment waarbij de blootstelling aan CO₂ kortstondig was.^{11,26,32,35,47,62} De resultaten van deze studies zijn lastig te beoordelen aangezien er gevraagd wordt naar symptomen of beleving over een langere periode terwijl de CO₂-concentratie slechts kortstondig werd gewijzigd of gemonitord. In de studies met een laag aantal deelnemers worden wel significante effecten gevonden. Door het lage aantal deelnemers en lage kwaliteit van de bewijslast moeten deze studies kritisch bekeken worden. Inconsistentie in resultaten kan mogelijk ook ontstaan door de variaties van de CO₂-concentratie over de tijd. Dit speelt vooral bij praktijkstudies waar de CO₂-concentratie niet constant is maar (sterk) fluctueert.^{15,27,31,32,37,38,41,47,49,55} De CO₂-concentratie wordt soms door de ventilatiehoeveelheid te veranderen geregeld en kan voor inconsistente CO₂-niveaus zorgen.^{19,33,40}

Studies in scholen wordt vaak alleen cognitieve prestaties als uitkomstmaat beschouwd. Dit wordt wel beschouwd over meerdere klassen waardoor het deelnemersaantal hoog is.^{13,19,20,26,38,43,47} De kwaliteit van de uitgevoerde studies is laag. Confounders, limitaties en gebruikte cognitieve testen zijn vaak niet of niet volledig beschreven. Net als studies met andere doelgroepen wordt de CO₂ over een bepaalde periode gemeten maar wordt deze niet goed beschreven tijdens de testafname. Hierdoor is CO₂ een gemeten grootheid maar hoeft CO₂ als stof niet de directe reden te zijn dat cognitieve prestaties beter of slechter zijn.

Studies met een redelijke tot hoge kwaliteit van bewijs zijn beperkt gevonden in dit onderzoek. De overige studies hadden een lage tot zeer lage kwaliteit van bewijs, wat de conclusies van deze publicaties moeilijk te interpreteren maakt. Zo zijn er studies waarin resultaten onduidelijk zijn beschreven en het effect van CO₂ op een onderzocht aspect daarom niet eenduidig was.^{15,27,28,53}

5 Conclusie

Uit de beschouwde literatuur blijkt dat er geen consensus is als het gaat over een mogelijke relatie tussen CO₂-concentraties en de onderzochte aspecten 1) cognitieve prestaties, 2) fysiologische parameters, 3) comfort, beleving en klachten en 4) absentie en ziekte. De beschouwde studies zijn niet eenduidig in hun conclusies. Hier hebben de onderzoeksopzet en de uitvoering een groot aandeel in. Er is bij het merendeel van de studies geen rekening gehouden met versturende factoren, de blootstellingsduur is vaak relatief kort en afgenomen vragenlijsten besloegen een langere periode terwijl de CO₂-concentratie over een relatief korte periode is gemeten.

6 Literatuur

1. Munn Z, Peters MDJ, Stern C, Tufanaru C, McArthur A, Aromataris E. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Med Res Methodol.* 2018;18(1):1-7. doi:10.1186/s12874-018-0611-x
2. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: Towards a methodological framework. *Int J Soc Res Methodol Theory Pract.* 2005;8(1):19-32. doi:10.1080/1364557032000119616
3. Barker TH, Stone JC, Sears K, et al. Revising the JBI quantitative critical appraisal tools to improve their applicability: an overview of methods and the development process. *JBIEvid Synth.* 2023;21(3):478-493. doi:10.11124/JBIES-22-00125
4. Szumilas M. Statistical question: Odds ratios. *BMJ.* 2010;341(7769):407. doi:10.1136/bmj.c4414
5. Xie Z, Wang Q, Zhou K, et al. Field Investigations on Subjective Perception, Physiological Responses, and Cognitive Performance under Increasing CO₂ Concentration in an Underground Confined Space. *Indoor Air.* 2024;2024. doi:10.1155/2024/5781565
6. Salthammer T, Uhde E, Schripp T, et al. Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution. *Environ Int.* 2016;94:196-210. doi:10.1016/j.envint.2016.05.009
7. Wang C, Lin Y, Ptukhin Y, Liu S. Air quality in the car: How CO₂ and body odor affect drivers' cognition and driving performance? *Sci Total Environ.* 2024;911(July 2023). doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168785
8. Maniscalco J, Hoffmeyer F, Monsé C, et al. Physiological responses, self-reported health effects, and cognitive performance during exposure to carbon dioxide at 20 000 ppm. *Indoor Air.* 2022;32(1):1-15. doi:10.1111/ina.12939
9. Zhang X, Wargocki P, Lian Z, Thyregod C. Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air.* 2017;27(1):47-64. doi:10.1111/ina.12284
10. Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ Health Perspect.* 2016;124(6):805-812. doi:10.1289/ehp.1510037
11. Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environ Health Perspect.* 2012;120(12):1671-1678.
12. Hurley RF, Belyamani MA, Djamasbi S, Somasse GB, Strauss S, Liu S. Do We Overestimate the Impact of Carbon Dioxide on Cognition and Decision-Making? Preliminary Evidence. *Environ Sci Eng.* Published online 2023:2243-2249. doi:10.1007/978-981-19-9822-5_240
13. Klausen FB, Amidi A, Kjærgaard SK, et al. the Effect of Air Quality on Sleep and Cognitive Performance in School Children Aged 10–12 Years: a Double-Blinded, Placebo-Controlled, Crossover Trial. *Int J Occup Med Environ Health.* 2023;36(1):177-191. doi:10.13075/ijom.1896.02032
14. Fan Y, Cao X, Zhang J, Lai D, Pang L. Short-term exposure to indoor carbon dioxide and cognitive task performance: A systematic review and meta-analysis. *Build Environ.* 2023;237(February). doi:10.1016/j.buildenv.2023.110331

15. Lee J, Wan Kim T, Lee C, Koo C. Integrated Approach to Evaluating the Effect of Indoor CO₂ Concentration on Human Cognitive Performance and Neural Responses in Office Environment. *J Manag Eng.* 2022;38(1). doi:10.1061/(asce)me.1943-5479.0000993
16. Pang L, Zhang J, Cao X, et al. The effects of carbon dioxide exposure concentrations on human vigilance and sentiment in an enclosed workplace environment. *Indoor Air.* 2021;31(2):467-479. doi:10.1111/ina.12746
17. Tu Z, Li Y, Geng S, Zhou K, Wang R, Dong X. Human responses to high levels of carbon dioxide and air temperature. *Indoor Air.* 2021;31(3):872-886. doi:10.1111/ina.12769
18. Allen JG, MacNaughton P, Cedeno-Laurent JG, et al. Airplane pilot flight performance on 21 maneuvers in a flight simulator under varying carbon dioxide concentrations. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2019;29(4):457-468. doi:10.1038/s41370-018-0055-8
19. Dorizas PV, Assimakopoulos MN, Santamouris M. A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environ Monit Assess.* 2015;187(5):1-18. doi:10.1007/s10661-015-4503-9
20. Bakó-Biró Z, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Build Environ.* 2012;48(1):215-223. doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.018
21. Zhang Y, Hopke PK, Mandin C. *Handbook of Indoor Air Quality*; 2022. doi:10.1007/978-981-16-7680-2
22. Wu J, Weng J, Xia B, Zhao Y, Song Q. The synergistic effect of pm2.5 and co₂ concentrations on occupant satisfaction and work productivity in a meeting room. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(8). doi:10.3390/ijerph18084109
23. Du B, Tandoc MC, Mack ML, Siegel JA. *Indoor CO₂ Concentrations and Cognitive Function: A Critical Review.* Vol 30.; 2020. doi:10.1111/ina.12706
24. Azuma K, Yanagi U, Kagi N, Osawa H. A review of the effects of exposure to carbon dioxide on human health in indoor environment. *Heal Build Eur 2017.* Published online 2017.
25. Kraus M, Juhászová Šenitková I. Impact indoor air quality on productivity and performance. *Int Multidiscip Sci GeoConference Surv Geol Min Ecol Manag SGEM.* 2017;17(63):905-912. doi:10.5593/SGEM2017H/63/S27.112
26. Ferreira AM da C, Cardoso M. Indoor air quality and health in schools. *J Bras Pneumol* 2014;40(3):259-268. 2014;40(3):259-268. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132014000300009
27. Tsai DH, Lin JS, Chan CC. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg.* 2012;9(5):345-351. doi:10.1080/15459624.2012.675291
28. Kajtár L, Herczeg L, Láng E, Hrustinszky T, Bánhidi L. Influence of carbon-dioxide pollutant on human well-being and work intensity. *HB 2006 - Heal Build Creat a Heal Indoor Environ People, Proc.* 2006;1:85-90.
29. Yang Y, Sun C, Sun M. The effect of moderately increased CO₂ concentration on perception of coherent motion. *Aviat Sp Environ Med.* 1997;68(3):187-191.
30. Mishra AK, Schiavon S, Wargocki P, Tham KW. Respiratory performance of humans exposed to moderate levels of carbon dioxide. *Indoor Air.* 2021;31(5):1540-1552. doi:10.1111/ina.12823
31. Jung CC, Su HJ, Liang HH. Association between indoor air pollutant exposure and blood pressure and heart rate in subjects according to body mass index. *Sci Total Environ.* 2016;539:271-276. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.158
32. Norbäck D, Nordström K, Zhao Z. Carbon dioxide (CO₂) demand-controlled ventilation in university computer classrooms and possible effects on headache, fatigue and perceived indoor environment: An intervention study. *Int Arch Occup Environ Health.* 2013;86(2):199-209. doi:10.1007/s00420-012-0756-6
33. Shriram S, Ramamurthy K, Ramakrishnan S. Effect of occupant-induced indoor CO₂

- concentration and bioeffluents on human physiology using a spirometric test. *Build Environ.* 2019;149(September 2018):58-67. doi:10.1016/j.buildenv.2018.12.015
34. Li Y, Yuan Y, Li C, Han X, Zhang X. Human responses to high air temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration in underground refuge chamber. *Build Environ.* 2018;131(December 2017):53-62. doi:10.1016/j.buildenv.2017.12.038
35. Zhang X, Wargocki P, Lian Z. Physiological responses during exposure to carbon dioxide and bioeffluents at levels typically occurring indoors. *Indoor Air.* 2017;27(1):65-77. doi:10.1111/ina.12286
36. Fink R, Eržen I, Medved S. Symptomatic response of the elderly with cardiovascular disease during a heat wave in Slovenia. *Cent Eur J Public Health.* 2017;25(4):293-298. doi:10.21101/cejph.a4469
37. Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, et al. High indoor CO₂ concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO₂ level and sleepiness during cognitive work. *J Occup Environ Hyg.* 2016;13(1):19-29. doi:10.1080/15459624.2015.1076160
38. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, et al. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J.* 2010;35(4):742-749. doi:10.1183/09031936.00016309
39. Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. *Indoor Air, Suppl.* 2004;14(8):127-134. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00298.x
40. Kim J, Kong M, Hong T, Jeong K, Lee M. Physiological response of building occupants based on their activity and the indoor environmental quality condition changes. *Build Environ.* 2018;145(September):96-103. doi:10.1016/j.buildenv.2018.09.018
41. Arikan İ, Tekin ÖF, Erbas O. Relationship between sick building syndrome and indoor air quality among hospital staff. *Med del Lav.* 2018;109(6):435-443. doi:10.23749/mdl.v110i6.7628
42. Lu CY, Lin JM, Chen YY, Chen YC. Building-related symptoms among office employees associated with indoor carbon dioxide and total volatile organic compounds. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(6):5833-5845. doi:10.3390/ijerph120605833
43. Carreiro-Martins P, Viegas J, Papoila AL, et al. CO₂ concentration in day care centres is related to wheezing in attending children. *Eur J Pediatr.* 2014;173(8):1041-1049. doi:10.1007/s00431-014-2288-4
44. Fuentes-Leonarte V, Tenías JM, Ballester F. Levels of pollutants in indoor air and respiratory health in preschool children: A systematic review. *Pediatr Pulmonol.* 2009;44(3):231-243. doi:10.1002/ppul.20965
45. Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms.pdf. *Indoor Air.* 2000;10:246-257.
46. Law J, Van Baalen M, Foy M, et al. Relationship between carbon dioxide levels and reported headaches on the international space station. *J Occup Environ Med.* 2014;56(5):477-483. doi:10.1097/JOM.0000000000000158
47. Korsavi SS, Montazami A, Mumovic D. Perceived indoor air quality in naturally ventilated primary schools in the UK: Impact of environmental variables and thermal sensation. *Indoor Air.* 2021;31(2):480-501. doi:10.1111/ina.12740
48. Tu Z, Geng S, Li Y. Study on human responses under different CO₂ concentration and illuminance in underground refuge chamber. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2020;510(5). doi:10.1088/1755-1315/510/5/052026
49. Muscatiello N, Mccarthy A, Kielb C, Hsu WH, Hwang SA, Lin S. Classroom conditions and CO₂ concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. *Indoor Air.* 2015;25(2):157-167. doi:10.1111/ina.12136
50. Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: An analysis of existing information. *Indoor Air.* 2003;13(1):53-64. doi:10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x

51. Liu W, Wargocki P. THE EFFECT OF HIGH AIR TEMPERATURE AND CO₂ CONCENTRATION ON HUMAN SUBJECTIVE RESPONSES. In: *Healthy Buildings*. ; 2015.
52. James JT. The headache of carbon dioxide exposures. *SAE Tech Pap*. 2007;(724). doi:10.4271/2007-01-3218
53. Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D. Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*. 2004;14(5):333-341. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x
54. Gaihre S, Semple S, Miller J, Fielding S, Turner S. Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *J Sch Health*. 2014;84(9):569-574. doi:10.1111/josh.12183
55. Myatt TA, Staudenmayer J, Adams K, Walters M, Rudnick SN, Milton DK. Environmental Health: A Global Access Science Source A study of indoor carbon dioxide levels and sick leave among office workers. *Environ Heal A Glob Access Sci Source*. 2002;10:1-10. <http://www.ehjournal.net/content/1/1/3>
56. Lowther SD, Dimitroulopoulou S, Foxall K, et al. Low level carbon dioxide indoors—a pollution indicator or a pollutant? A health-based perspective. *Environ - MDPI*. 2021;8(11):1-25. doi:10.3390/environments8110125
57. Jacobson TA, Kler JS, Hernke MT, Braun RK, Meyer KC, Funk WE. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nat Sustain*. 2019;2(8):691-701. doi:10.1038/s41893-019-0323-1
58. Ahmed Abdul-Wahab SA, En SCF, Elkamel A, Ahmadi L, Yetilmezsoy K. A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. *Atmos Pollut Res*. 2015;6(5):751-767. doi:10.5094/APR.2015.084
59. Seppänen OA. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*. 1999;9(4):226-252. doi:10.1111/j.1600-0668.1999.00003.x
60. Zhang X, Wargocki P, Lian Z, Xie J, Liu J. The effects of bioeffluents on health symptoms, perceived air quality and cognitive performance ↓ summary of current evidence. *15th Conf Int Soc Indoor Air Qual Clim INDOOR AIR 2018*. 2018;(1936):1-2.
61. Salthammer T, Uhde E, Schripp T, et al. Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution. *Environ Int*. 2016;94:196-210. doi:10.1016/j.envint.2016.05.009
62. Kraus M, Senitkova IJ. Impact indoor air quality on productivity and performance. In: *International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. Vol 01. ; 2017:1-7.

Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Delft, 3 maart 2025

Ir. R.M.A. Kroeze
Research Manager

Ing. N.G. Egter van Wissekerke
Projectleider

Bijlage A

JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR ANALYTICAL CROSS SECTIONAL STUDIES

Reviewer _____ Date _____

 Author _____ Year _____

Yes	No	Unclear	Not applicable
-----	----	---------	----------------

- | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Were the criteria for inclusion in the sample clearly defined? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 2. Were the study subjects and the setting described in detail? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 3. Was the exposure measured in a valid and reliable way? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 4. Were objective, standard criteria used for measurement of the condition? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 5. Were confounding factors identified? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 6. Were strategies to deal with confounding factors stated? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 7. Were the outcomes measured in a valid and reliable way? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 8. Was appropriate statistical analysis used? | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ |

 Overall appraisal: Include ☒ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Reliability Score 4 (4 = reliable, 1 = not reliable. Everything answered with 'Yes' = 4, subtract one point for each 'No' or 'Unclear').

Mobility & Built Environment

Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
www.tno.nl