

Testo whitepaper:
Sledování CO₂
a vnitřního klimatu

Be sure. **testo**

Sledování CO₂ a vnitřního klimatu.



Vznik CO₂ a jeho účinky na lidské zdraví.

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, který není navíc ani cítit. Je přirozenou součástí okolního vzduchu s koncentrací cca 400 ppm. CO₂ vzniká při úplném spalování uhlikatých látek s dostatečnou zásobou kyslíku. V živých organismech se tvoří jako metabolit buněčného dýchání.¹ Při vyšších koncentracích (>1000 ppm) dochází k negativním účinkům na lidské zdraví (např. bolesti hlavy, únava, ztráta pozornosti).²

Buňky v našem těle vyprodukují cca 0,7 kg CO₂ za den, odkud se dále rozptyluje do vlásečnic. Jeho transport probíhá pomocí krevního oběhu, kde se chemicky váže na proteiny (např. hemoglobin) nebo v rozpuštěné formě. CO₂ se do značné míry fyzicky rozpouští, pouze malá část je pomocí karbonické anhydrázy přeměněna v červených krvinkách na kyselinu uhličitou, která se v kapalném

prostředí rozkládá na vodíkové a hydrogenuhličitě ionty. CO₂ je vydechován přes alveolokapilární membránu plicních sklípků. Klíčová fyziologická funkce CO₂ v organismu spočívá v regulaci dýchání přes chemoreceptory aorty a prodloužené míchy, které stimulují respirační centrum v mozgovém kmeni. Vdechování vzduchu se zvýšenou koncentrací CO₂ zvyšuje frekvenci dýchání a dechový objem. Během tohoto procesu má CO₂ dilatační účinek na průdušky, což způsobuje navýšení mrtvého prostoru (prostor v dýchacím ústrojí, který není zapojen do výměny plynů). Nicméně, dilatační účinek CO₂ na periferní a centrální arterioly nevede k poklesu krevního tlaku, jelikož zvýšená produkce adrenalinu způsobuje kompenzační vazokonstrikci.³

Účinky různých koncentrací CO₂

Koncentrace	Efekt
350...450 ppm	Typická atmosférická koncentrace
600...800 ppm	Spolehlivá kvalita vnitřního klimatu
1000 ppm	Horní hranice spolehlivé kvality vnitřního klimatu
5000 ppm	Max. povolená koncentrace na pracovišti po 8 hod.
6000...30 000 ppm	Kritická koncentrace, pouze krátkodobé vystavení
3...8 %	Zrychlené dýchání, bolesti hlavy
>10 %	Nevolnost, zvracení, ztráta vědomí
>20 %	Prudká ztráta vědomí, smrt

Obrázek 1: Účinky různých koncentrací CO₂

CO₂ ve vnitřním klimatu budov.

CO₂ je považován za hlavní parametr lidského znečištění ovzduší, jelikož nárůst koncentrace CO₂ v místnosti koreluje s nárůstem intenzity zápachu pocházejícího z lidského metabolismu. Množství CO₂ v ovzduší místnosti je tedy přímým vyjádřením intenzity využití místnosti. CO₂ je proto také vhodný jako orientační indikátor pro další oblasti regulace, jako např. geometrické plánování klimatizačních a ventilačních systémů nebo pro větrací návyky v přirozeně větraných, hustě využívaných místnostech, jako jsou učebny nebo posluchárny.⁴

Ve využívaných vnitřních prostorách závisí koncentrace CO₂ hlavně na:

- **Počtu osob v místnosti, velikosti místnosti**
- **Činnosti, kterou osoby v místnosti provádějí**
- **Době, kterou osoby v místnosti strávily**
- **Probíhajících spalovacích procesech**
- **Větracích návycích v místnosti**

Rychlý nárůst koncentrace CO₂ v místnosti je typickým důsledkem přítomnosti mnoha osob v relativně malém prostoru (např. posluchárnách, konferenčních halách nebo učebnách) se špatným větráním. Kritické koncentrace CO₂ se obecně vyskytují společně s dalšími ovzduší znečišťujícími faktory, zejména pachovými látkami z potu nebo kosmetiky, stejně jako s mikroorganismy. U vzduchotěsných konstrukcí s velmi malou výměnnou vzduchu může dojít ke zvýšení koncentrace CO₂ i za přítomnosti jen několika osob (např. v bytech či kancelářích). V obou případech hraje koncentrace CO₂ klíčovou roli v tom, jak pohodlně se osoby v místnosti cítí. ECA (European Collaborative Action) určila na základě studií následující úroveň nepohody v místnosti: od 1000 ppm se očekává, že se cca 20 % osob v místnosti bude cítit nepohodlně; při 2000 ppm až 36 %.⁵

Zatímco posluchárny a konferenční haly jsou zpravidla používány pouze zřídka a po velmi krátkou dobu, školy, vzhledem k pravidelné přítomnosti studentů a učitelů po dobu několika hodin, je třeba považovat za obzvláště kritické z hlediska koncentrace CO₂. Současné a minulé studie týkající se kontaminace ovzduší oxidem uhličitým v učebnách provedené v Německu opakovaně prokázaly značné nedostatky kvality vnitřního klimatu s ohledem na tento parametr.⁶

Vnější průtok vzduchu, větrací návyky a větrací semaforey.

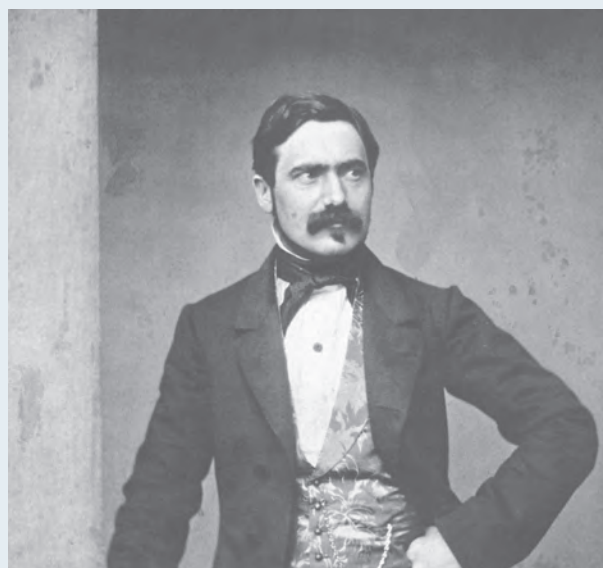
Objemový průtok vnějšího vzduchu nebo rychlost větrání představuje objem vnějšího vzduchu (v l/s nebo m³/h), který proudí do místnosti nebo budovy skrze ventilační systém nebo netěsnostmi v obvodovém plášti budovy.

Pro místnosti, které jsou určeny k přítomnosti osob, je požadovaný objemový průtok vnějšího vzduchu vztážen na jednu osobu, tj. l/s na osobu nebo m³/h na osobu. Rychlost výměny vzduchu (n v 1/h) je kvocient ze vstupního objemového průtoku vzduchu v m³/h a objemu místnosti v m³.⁷

Vnitřní klima je považováno za pohodlné pro člověka, pohybuje-li se teplota místnosti v rozmezí 20...23 °C a vlhkost vzduchu 30...70 %rv. Nicméně, pro osoby trpící alergií na prach je doporučena úroveň vlhkosti vzduchu max. 50 %rv. V tomto případě je doporučeno provádět příležitostné kontroly vlhkosti pomocí profesionálně zkalibrovaného hygrometru. Rychlosti proudění vzduchu v místnosti by neměly přesáhnout hodnotu 0,16 m/s (v zimě) nebo 0,25 m/s (v létě).

Při vstupu do místnosti, kde je již někdo přítomen, často nabýváme dojmu „vyčerpaného vzduchu“. Toto lze přičinit vydechovanému CO₂, vodní páře a vylučovaným tělním pachům.⁸

Již před 150 lety označil německý chemik a hygienik **Max von Pettenkofer** „špatný vzduch“ za negativní vliv na lidské zdraví, po dlouhodobém pobytu v obytných prostorách a školských zařízeních, a identifikoval CO₂ jako nejdůležitější parametr pro vyhodnocení kvality ovzduší v místnosti. Jako standardní hladinu CO₂ v místnosti určil hodnotu 0,1 obj.% (= 1000 ppm) – tzv. Pettenkoferovo číslo, což bylo platnou směrnici po velice dlouhou dobu. První známky zhoršené pohody prostředí pro člověka, jako jsou bolesti hlavy, únava nebo ztráta pozornosti, se začínají projevovat právě při koncentracích CO₂ >1000 ppm.⁹



Obrázek 2: Max von Pettenkofer

Větrací semafor je užitečný nástroj pro moderní vyhodnocování úrovně CO₂ vnitřního klimatu:

	Úroveň CO ₂ (ppm)	Barva semaforu	Hygienické vyhodnocení	Doporučená akce
Koncentrace CO ₂ nižší než 1000 ppm: Nekritická	<1000	Zelená	Hygienicky nekritické (cílová hodnota)	-
Koncentrace CO ₂ mezi 1000 a 2000 ppm: Kritická	1000...2000	Žlutá	Hygienicky kritická	Větrání (zvyšte výměnu vzduchu v místnosti). Zkontroluje a vylepšete větrací návyky v místnosti.
Koncentrace CO ₂ vyšší než 2000 ppm: Nepřijatelná	>2000	Červená	Hygienicky nepřijatelná	Zkontrolujte možnosti větrání v místnosti. Případně zajistěte další možné způsoby větrání.

Obrázek 3: Vyhodnocení úrovně CO₂ v místnosti pomocí větracího semaforu.¹⁰

Syndrom nemocných budov.



Pojem „syndrom nemocných budov“ (SBS = Sick Building Syndrome) lze být vyložen dvěma způsoby. Buď si pod tímto pojmem můžeme představit budovu, která způsobuje osobám, které v ní pracují, onemocnění, nebo si jej lze vyložit tak, že budova samotná je „nemocná“.

Příčinou SBS je většinou klimatizační systém nebo nedostatečná hygiena vzduchu v budově. Existuje široké spektrum příznaků, vč. např. dráždění očí, nosních dutin a dýchacích cest; vysychání kůže a sliznice; duševní únava; dýchací potíže a kašel; chraptot, dušnost, svědění a nespecifikovaná přecitlivělost.

Americká studie prováděná v budovách s klimatizačními a ventilačními systémy byla schopná statisticky prokázat významné pozitivní korelace mezi stížnostmi jako sucho v krku a podráždění sliznice a zvýšením koncentrace CO₂, dokonce i při koncentracích <1000 ppm.

Nedávné studie ukázaly, že náklady na nápravu problémů pramenících z nepříznivého vnitřního klimatu jsou pro zaměstnavatele, majitele budovy a společnost často vyšší než náklady na energie postižené budovy. Rovněž bylo prokázáno, že vhodná kvalita vnitřního klimatu může zlepšit výkonnost při práci či studiu a zároveň redukovat absence.¹¹

Kvalita vnitřního klimatu ve školách.



Jen v Německu existuje více než 34000 veřejných školních institucí a více než 10000 vzdělávacích zařízení. Jak si lze tedy představit, sledování úrovně CO₂ je velice důležité. Venkovní vzduch obsahuje koncentraci CO₂ o hodnotě cca 400 ppm.¹²

V učebně tato hodnota vystoupá na cca 1500 ppm za jednu vyučovací hodinu pouhým dýcháním studentů a učitelů. Po 90 minutách pak až na 2700 ppm. To vede velmi rychle k zvýšené únavě a klesající pozornosti – příznaky, které jsou přímými překážkami ve výuce.¹³

Americká studie dospěla k závěru, že úroveň koncentrace CO₂ má přímý vliv na docházku studentů. Zvýšení koncentrace o 1000 ppm vyústilo ve zvýšení absence o 10...20 %. Podle jiné studie zvyšuje každých 100 ppm koncentrace CO₂ roční absenci studentů o 0,2 %.¹⁴ Dále bylo zjištěno, že vylepšení větracích návyků v učebně sníží absenci z důvodu nemocí až o 10...17 %.¹⁵

Lze tedy tvrdit, že úroveň koncentrace CO₂ měla přímý vliv na docházku ve zkoumaných školách. Nicméně, rozsah tohoto vlivu je nejasný, jelikož se také musí brát v potaz individuální okolnosti v jednotlivých institucích.

Se zavedením zákona o úsporách energie v Německu v roce 2002 (revidovaný v roce 2007) čelí všichni účastníci renovací školních zařízení novým výzvám. Obvodové pláště budov a okna se vědomě utěšňují, aby se splnily zákonné energetické požadavky. Nevýhodou tohoto procesu je, že se při nedostatečném větrání nashromáždí chemické a biologické látky ve vnitřním klimatu budov.¹⁶

Ačkoli je problém s CO₂ v místnostech s větším počtem osob již dlouho znám, přesvědčivá řešení zatím nebyla v oblasti školství nalezena. Zároveň však neexistuje jasně stanovená zodpovědnost, kdy a kým mají být okna v učebnách otevřena, zejména v zimním období. Z toho pramení, dle očekávání, vysoké až velice vysoké koncentrace CO₂ v učebnách (3000 ppm a více). Tyto mají přímý vliv na riziko vypuknutí infekce ve školách. Všude tam, kde se vyskytují vysoké koncentrace CO₂ se také vyskytuje nadměrné množství bakterií.¹⁷

Například v roce 2003, dva američtí vědci, Rudnick a Milton, studovali riziko nákazy chřipkou ve školní učebně. V učebně se nacházelo 30 žáků, ze kterých jeden trpěl akutní chřipkou. Výsledek: při koncentraci CO₂ o úrovni 1000 ppm se nakazilo 5 žáků, při 2000 ppm 12 žáků a při 3000 ppm až 15 žáků.¹⁸

Současná situace v mnoha školách ukazuje, že ani pravidelné větrání v některých místech není dostatečným řešením pro udržení nízké hladiny CO₂. Ventilační systémy se staly jediným, nevyhnutelným řešením pro dosažení uživatelsky závislé a trvalé kvality vzduchu s nízkou koncentrací CO₂.¹⁹

Pokyny pro obsah CO₂ ve vnitřním klimatu.

V Německu a obecně celé Evropě neexistuje všeobecná legislativa týkající se požadavků na kvalitu vnitřního klimatu. Namísto toho existuje řada hodnotících parametrů, které jsou označovány např. jako směrové hodnoty, orientační hodnoty nebo cílové hodnoty. V Německu je hodnota koncentrace CO₂ 0,15 obj.% (= 1500 ppm) považována za směrovou hodnotu z hlediska hygieny dle DIN 1946 část 2. Směrové hodnoty CO₂ pro vnitřní klima byly zveřejněny Komisí pro hygienu vnitřního ovzduší federálního ministerstva ochrany životního prostředí a státním zdravotním úřadem.²⁰

Řada sousedních zemí vydala pokyny a doporučení pro větrací návyky v budovách, vč. školských zařízení, které obsahují ustanovení o omezení koncentrací CO₂ ve vnitřním klimatu. Ve Finsku jsou k dispozici tři možnosti pro měření

a sledování úrovně CO₂ ve vnitřním klimatu budov: max. povolená koncentrace CO₂ vnitřního ovzduší za běžných povětrnostních podmínek a při využívání místnosti je 1200 ppm. Norské a švédské směrnice stanovují max. koncentraci CO₂ pro obytné prostory, školy a kanceláře na 1000 ppm. V Dánsku by, podle pokynů Úřadu pro ochranu práce, neměla koncentrace CO₂ v dětských denních centrech, školách a kancelářích překročit hodnotu 1000 ppm. Větrání je charakterizováno jako nedostatečné, překročí-li několikrát za den koncentrace CO₂ hranici 2000 ppm²¹.

Na pracovištích, na která se vztahují ustanovení směrnice o nebezpečných látkách (DSD = Dangerous Substance Directive), platí hraniční hodnota koncentrace CO₂ vnitřního klimatu 5000 ppm dle TRGS 900.

Přístroje pro měření CO₂.

Pro měření úrovně CO₂ ve vnitřním klimatu nabízíme tři způsoby:

Přístroje pro měření CO₂

(např. testo 535):



Přenosné a vhodné pro dlouhodobá měření; měří úroveň CO₂ rychle a spolehlivě.

Záznamníky dat pro měření CO₂

(např. testo 160 IAQ):



Kontinuální měření teploty, vlhkosti a úrovně CO₂. Přenos naměřených hodnot do Testo-Cloudu pomocí WLAN sítě. Notifikace alarmu pomocí emailu či SMS. LED signalizace na principu semaforu zaručuje okamžitý přehled úrovně CO₂ v místnosti.

Přístroje pro měř. rychl. proudění a pohody prostředí (např. testo 440):



Kromě úrovně CO₂ měří také další HVAC parametry, jako jsou např. rychlost proudění vzduchu, teplota, vlhkost, stupeň turbulence, úroveň CO a intenzita osvětlení.

Máte-li zájem o přístroje pro měření úrovně CO₂ od společnosti Testo, navštivte naše internetové stránky www.testo.cz a kontaktujte nás.

Seznam literatury.

- ¹ Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1358
- ² Müller-Limroth (1977): quoted in Luftqualität in Innenräumen (1997). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287, quoted in Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, authors (Dipl.-Ing. Dr. Rolf Boos, Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Dipl.-Ing. Dr.Hans-Peter Hutter, Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi, Dr.Hanns Moshhammer, Dipl.-Ing. Peter Tappler, Dipl.-Ing. Felix Twardik, Dr. Peter Wallner), <http://www.komfortlüftung.at/>
- ³ Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1362
- ⁴ Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, page 6, authors (Dipl.-Ing. Dr.Rolf Boos, Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Dipl.-Ing. Dr.Hans-Peter Hutter, Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi, Dr.Hanns Moshhammer, Dipl.-Ing. Peter Tappler, Dipl.-Ing. Felix Twardik, Dr. Peter Wallner), <http://www.komfortlüftung.at/>
- ⁵ ECA (1992) Guidelines for ventilation requirements in buildings. European Collaborative Action Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report no. 11. EUR 14449, quoted in: Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1366
- ⁶ Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1358f
- ⁷ ibid
- ⁸ <https://www.allum.de/stoffe-und-ausloeser/schadstoffe-der-innenraumluft/allgemeines-zur-innenraumluftqualitaet>
- ⁹ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008, page 32, http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf
- ¹⁰ Fig. 3:
Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz
- ¹¹ Über das Sick-Building Syndrome, author Dr-Ing. Ahmet Cakir, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 1994 (http://ergonomic.de/wp-content/uploads/2015/03/sick_building-2002.pdf)
- ¹² Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008, page 10
- ¹³ Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, authors Gunnar Grün, Susanne Urlaub, Stuttgart, 10. Dezember 2015, https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Presseinformationen/Velux-Prestudy_WhitePaper_141205_amended.pdf
- ¹⁴ Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, et al. (2004) Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air 14:333–341, quoted in: Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung
- ¹⁵ Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, authors Gunnar Grün, Susanne Urlaub, Stuttgart, 10. Dezember 2015, (https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Presseinformationen/Velux-Prestudy_WhitePaper_141205_amended.pdf)
- ¹⁶ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf, Seite 7
- ¹⁷ Mensch-Umwelt-Gesundheit, Bericht CO₂: <http://raumluft.linux47.webhome.at/naturliche-mechanische-lueftung/co2-als-lueftungsindikator/>, page 2
- ¹⁸ Rudnick SN, Milton DK (2003) Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. -245 Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1365
- ¹⁹ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf, page 39
- ²⁰ Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, page 1358- 1369, <http://www.komfortlüftung.at/gesund&energieeffizient,Komfortlüftunginfo.No.4,GesetzlicheVorgabenundRegelwerke,Herausgegebenam15.10.2010,page7>
- ²¹ SF-Ministry of the Environment (2003) Indoor climate and ventilation of buildings. Regulations and Guidelines 2003. D2 National building code of Finland, <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=68171&lan=en>, zitiert bei: Bundesgesundheitsbehlehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung