FORSCHUNGSBERICHT

BIGCONAIR BAUBIOLOGISCHE CONTAINERENTWICKLUNG

ENDBERICHT 2015

HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

Endbericht

FFG-Forschungsprojekt

BIGCONAIR

Projektteil: Raumluftmessungen

DI Daniel Stratev, DI Dr. Martin Weigl

2015

Projektlangtitel:	Baubiologische Containerentwicklung	**Akronym:**	BIGCONAIR
Projektlaufzeit:	01.09.2012- 28.02.2015	**Projektnummer:**	FFG/836468
Projektleitung:	Univ.-Prof. DDI Michael Flach		

BIGCONAIR
Baubiologische Containerentwicklung

Endbericht Raumluftmessungen

Projektnr.: FFG/836468

HFA-Nr.: F464

Gefördert durch die FFG

Autoren

DI D. Stratev
Dr. M. Weigl

Projektmitarbeiter/innen

DI (FH) C. Fürhapper
Mag. E. Habla
M. Nohava
DI D. Stratev
Dr. M. Weigl

Beteiligte Firmen

Universität Innsbruck – Fakultät für Bauingenieurwissenschaften –
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Holzbau Unterrainer GmbH
Vinzenz Harrer GmbH
Zoller – Prantl GmbH & Co.KG
Freisinger Fensterbau GmbH
Villgrater Natur Produkte Josef Schett KG
Holzbau Wegscheider Innovative Bau GmbH

Wien, 04 2015

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung / Problemstellung 5

2 Begriffsbestimmung 5

3 Forschungsmethodik 6

3.1 Luftprobenahme in den Containern und Bestimmung der VOC-Konzentration 6

3.2 Luftprobenahme in den Containern und Bestimmung der Formaldehyd-Konzentration 7

3.3 Abgleich der gemessenen Raumluftqualität mit Literaturdaten 7

4 Ergebnisse 8

4.1 TVOC-Konzentrationen 8

4.2 Formaldehyd-Emissionen 11

4.3 Einfluss der Möblierung auf die VOC- und Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft 18

4.4 Einfluss der Außenluft auf die Innenraumluftqualität 18

4.5 Abgleich der gemessenen VOC mit Literaturdaten 19

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung 25

6 Literatur 27

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen, Daten aus mehreren Studien [2]. Formaldehyd-Konzentrationen [µg/m³] (Kurven Generiert als Longonormal-Verteilung aus Perzentilwerten, ARGUK: Generierung der Verteilung aus Einzelmesswerten) 11

Abbildung 2. Graphische Darstellung der bestimmten TVOC-Konzentrationen (chronologisch) 13

Abbildung 3. Änderung der TVOC-Konzentrationen (zeitversetzt und ohne Ausreißer)..... 14

Abbildung 4. Normierte Darstellung der TVOC-Konzentrationen zur Abschätzung des Ausgleichzustands..... 15

Abbildung 5. Zeitliche Änderung der Formaldehyd-Konzentrationen..... 16

Abbildung 6. Einfluss der Möblierung auf die VOC-Konzentrationen..... 17

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1. Beurteilung von TVOC in der Innenraumluft – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW – Österreich) 9

Tabelle 2. Immissionsrelevante Parameter der untersuchten Container..... 12

Tabelle 3. Einfluss der Möblierung auf die VOC- und Formaldehyd-Konzentrationen 18

Tabelle 4. Relation der TVOC-Konzentration in der Außenluft zur Innenluft..... 19

Tabelle 5. Einzelstoffbetrachtung Referenzcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)..... 21

Tabelle 6. Einzelstoffbetrachtung Brettsperrholzcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)..... 22

Tabelle 7. Einzelstoffbetrachtung Lehmcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)..... 23

Tabelle 8. Einzelstoffbetrachtung Nachrüstcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)..... 24

1 Einleitung / Problemstellung

Dieser Projektteil befasste sich mit der Belastung der Innenraumluft mit (leicht- mittel und schwer-) flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC). Durch die luftdichte Bauweise von Containern besteht die Möglichkeit, dass sich Emissionen aus den verwendeten Baumaterialien sowie aus der jeweiligen Innenraumausstattung in der Raumluft anreichern. Diese Entwicklung wird durch eine kurze oder nicht gegebene Auslüftzeit verstärkt, da bei Containern die Nutzungsphase unmittelbar nach Fertigstellung beginnt. In den ersten Monaten nach Baufertigstellung sind die Emissionen aus den verwendeten Baumaterialien am höchsten. Gepaart mit nicht fachgerechtem Nutzerverhalten (z.B. Lüftungsweise) kann die Konzentration bestimmter Schadstoffe, z.B. VOC oder Formaldehyd, über die Richtwerte steigen. Ziel dieses Projektteils war ein unmittelbarer Vergleich real auftretender VOC- und Formaldehyd- Konzentrationen während der Nutzungsphase von vier unterschiedlichen Containern. Die Container sollten hierbei als Bürogebäude genützt, und die gemessenen Konzentrationen mit Realwerten und Richtwerten verglichen werden.

2 Begriffsbestimmung

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

UIBK: Universität Innsbruck

VOC: flüchtige organische Verbindung(en) mit einem Siedepunkt im Bereich von (50 °C bis 100 °C) bis (240 °C bis 260 °C)

SVOC: schwerflüchtige organische Verbindung(en) mit einem Siedepunkt im Bereich von (240 °C bis 260 °C) bis (380 °C bis 400 °C)

VVOC: leichtflüchtige organische Verbindung(en) mit einem Siedepunkt im Bereich von < 0 °C bis (50 °C bis 100 °C)

TVOC: Gesamtsumme flüchtiger organischer Verbindungen, die auf Tenax TA® gesammelt und zwischen und einschließlich n-Hexan und n-Hexadecan auf einer nicht-polaren Säule eluiert werden.

NIK: Niedrigste interessierende Konzentration

In diesem Dokument werden für die Untesuchungsobjekte die folgenden Benennungen verwendet:

- Referenzcontainer - Stahlcontainer (Fa. Containex)
- Brettsperrholzcontainer (Fa. Unterrainer)
- Lehmcontainer (Fa. Wegscheider)
- Nachrüstcontainer - Stahlcontainer mit Lehmelementen (Fa. Wegscheider)

3 Forschungsmethodik

3.1 Luftprobenahme in den Containern und Bestimmung der VOC-Konzentration

Es wurden in regelmäßigen Zeitabständen Proben aus der Innenraumluft des jeweiligen Containers gezogen um den Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen qualitativ und quantitativ zu ermitteln. Die durchgeführten Luftprobenahmen erfolgten als Doppelbestimmungen und in Anlehnung an ISO 16000-6 (für die VOC und SVOC-Bestimmungen) und ISO 16000-3 (für die Formaldehyd Bestimmungen).

Die Innenraumluft-Probenahmen erfolgten in allen Containern an den Tagen 1 (Beginn der Nutzungsphase, Zeit=0 in den Diagrammen), 14, 28, 90, 180, 365, 615 ab dem Zeitpunkt der Fertigstellung. Aufgrund der zunächst noch unbekannten Menge an Luftinhaltsstoffen, bestand das Risiko, dass die eingesetzten Sorptionsröhrchen mit diesen Substanzen überladen werden. Dies hätte zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen geführt. Daher wurden im Zuge der Doppelbestimmungen zwei unterschiedlichen Luftvolumina (3 bzw. 6 L) gezogen. Die wichtigsten immissionsrelevanten Parameter der untersuchten Container sind in Tabelle 2 angegeben.

Um den Einfluss der Außenluft auf die Innenraumluftqualität abzuschätzen, wurden parallel zu den Innenraumluft-Probenahmen, auch Proben von der Umgebungsluft gezogen.

Der Einfluss der Möblierung auf die Innenraumluftqualität wurde ebenfalls untersucht. Es wurden der Referenzcontainer und der Brettsperrholzcontainer gleichzeitig mit der gleichen Büromöblierung desselben Herstellers ausgestattet. Die Messungen der möblierten Container wurden jenen desselben Containers ohne Möblierung gegenübergestellt. Bei den Messungen im nicht möblierten Zustand wurden die Möbel vor der Probenahme entfernt, die Räume ausreichend belüftet und danach für 14 Stunden geschlossen gehalten. Die Möblierung setzte sich aus zwei L-förmigen Büroarbeitsplätzen und zwei Bücherregalen und einem Beistelltisch zusammen. Alle Möbel wurden aus beschichteten und rundum mit Anleimer versehenen handelsüblichen Spanplatten hergestellt.

Die Probenahmen erfolgten über mit Tenax TA® gefüllte Sorptionsröhrchen, durch die mittels einer geeigneten Probenahmepumpe (Markes International Ltd.) ein definiertes Luftvolumen aus dem Innenraum der Container (bzw. aus der Umgebungsluft) gezogen wurde. Die flüchtigen organischen Verbindungen wurden im Röhrchen an ein poröses Polymerharz basierend auf 2,6-Diphenylenoxid (Tenax TA®) adsorbiert. Dieses Material eignet sich gut zur Adsorption von VOC und SVOC

Die beladenen Röhrchen wurden an die Holzforschung Austria gesendet, wo die Dotierung mit internem Standard (Cyclodecan), die anschließende Messung und die Auswertung durchgeführt wurden.

Die Analyse der beladenen Tenax TA®-Röhrchen erfolgte nach ISO 16000-6 über Thermodesorption (Markes International Ltd.) gekoppelt an einen Gaschromatographen (Agilent Technologies 6890N), sowie einem Massenspektrometer (Agilent Technologies MSD 5973). Es wurde eine 60m GC-Säule für die VOC Trennung verwendet (Zebron ZB-5MSi 60m x 0,25m, 0,25 µm 5% Phenyl - 95% Dimethylpolysiloxan).

Die Kalibrierung des Messsystems erfolgte mittels analytischer Standards, welche nach Substanzgruppen zusammengefasst wurden. In Summe wurden mehr als 70 Einzelsubstanzen kalibriert. Die Kalibrierstandards wiesen eine Konzentration von 1 mg/ml in Methanol auf. Diese wurden entsprechend verdünnt und mit einer geeigneten Vorrichtung unter Inertgasfluss direkt auf die Tenax TA®-Röhrchen aufgebracht. Die derart beladenen Tenax TA®-Röhrchen deckten einen Konzentrationsbereich von etwa 1 - 500 µg/m³ ab und wurden analog zu den Proberöhrchen mittels Thermodesorption analysiert.
Die Identifizierung der gemessenen Substanzen erfolgte über den Vergleich der Massenspektren mit jenen aus kommerziellen Spektrenbibliotheken sowie der Kombination aus charakteristischen Fragmentionen mit der jeweils passenden Retentionszeit.
Die Quantifizierung erfolgte über die Targetion-Peakfläche der jeweiligen Substanz unter Verwendung der Peakfläche des internen Standards Cyclodecan als Korrekturfaktor.
Wurden VOCs gefunden, die nicht substanzspezifisch quantifiziert werden konnten, wurden diese entweder über substanzähnliche Verbindungen oder als Äquivalente von Toluol d8 ausgewertet. Essigsäure, welche aufgrund der hohen Polarität im VVOC-Bereich eluiert, wurde aufgrund der schlechten Reproduzierbarkeit der Messwerte (untypische Peakform und variable Detektorempfindlichkeit) aus der Quantifizierung ausgeschlossen.

3.2 Luftprobenahme in den Containern und Bestimmung der Formaldehyd-Konzentration

Die Luftprobenahme zur Bestimmung der Formaldehyd-Konzentration erfolgte parallel zur VOC-Probenahme. Die Probenahme sowie die chemische Analytik erfolgten durch die UIBK. Das Messprinzip beruht auf der chronographischen Trennung und der nachfolgenden photometrischen Bestimmung von Aldehyd-Derivaten [5]. Hierbei wird ein definiertes Luftvolumen (90 l) durch ein mit einem reaktiven Medium (2,4-Dinitrophenylhydrazin - DNPH) gefülltes Sorptionsröhrchen geführt. Formaldehyd wird gesammelt, indem es in ein Hydrazinderivat mit geringerem Dampfdruck überführt wird.

3.3 Abgleich der gemessenen Raumluftqualität mit Literaturdaten

Seit 1993 werden in Deutschland toxikologisch begründete Richtwerte für einzelne VOC oder Stoffgruppen veröffentlicht (Ad-hoc-Arbeitsgruppe[1]). Damit können Messergebnisse in der Innenraumluft in Bezug auf ihre gesundheitliche Relevanz bewertet werden. Bis Juni 2013 wurden insgesamt 36 Richtwerte für VOC herausgegeben [12] und der größte Teil davon wurde (durch Multiplizieren mit den entsprechenden Sicherheitsfaktoren) in das AgBB – Schema implementiert [13]. Es bleibt dennoch für alle noch nicht evaluierten VOC eine

[1] Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) beim Umweltbundesamt sowie der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG)

Bewertungsunsicherheit bestehen. Um dieses Defizit zu umgehen, führte die Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) – Deutschland [1] ein statistisch begründetes Bewertungskonzept ein, welches auf den s.g. Orientierungswerten basiert. Anhand von statistisch abgeleiteten Auffälligkeitswerten für die Raumluft (Orientierungswerte) können Messergebnisse bezüglich einer Wahrscheinlichkeit eingestuft und damit in ihrer Relevanz für die Suche nach Ursachen gesundheitlicher Beschwerden gewichtet werden. Jedoch ist die Bewertung eines konkreten gesundheitlichen Risikos mit den Orientierungswerten nicht möglich. Im November 2013 veröffentlichte AGÖF die dritte Fassung ihrer Liste der Orientierungswerte mit mehr als 300 Einzelverbindungen. Sie enthält auch Stoffe, die außerhalb des VOC-Bereichs liegen (wie niedermolekulare Aldehyde und Ketone), aber für die Bewertung relevant sind. Für die Ableitung jedes Orientierungswerts wurden im Durchschnittsfall mehr als 1900 unabhängige Bestimmungen durchgeführt.
Jede bestimmte Einzelsubstanz mit einer Konzentration über 2 µg/m³ (Ausnahme Benzol) in der Innenraumluft der untersuchten Container wurde mit den Daten aus der AGÖF-Liste (2013) verglichen (siehe Kapitel 4.3).

4 Ergebnisse

4.1 TVOC-Konzentrationen

Die Ergebnisse aus den Bestimmungen der TVOC-Konzentrationen in den einzelnen Containern sind chronologisch in Abbildung 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich in Hinsicht auf die TVOC-Konzentrationen jeder Container spezifisch verhält. In der Abbildung sind zwei Ausreißer identifiziert (Lehmcontainer). Es ist anzunehmen, dass der erste Ausreißer durch Abweichungen bei der Belüftung oder dem Probenahmevolumen entstand, da derartige Variationen für alle anderen Messkurven an dem betreffenden Probenahmetag nicht beobachtet werden konnten. Im Fall des zweiten Ausreißers wurde aufgrund erhöhter Luftfeuchte im betreffenden Container Kondenswasser in den Sorptionsröhrchen nachgewiesen. Hierdurch kann keine vertrauenswürdige Aussage über die realen VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft getroffen werden. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es wegen der Besonderheiten, die bei einem komplexen Substanzgemisch zu berücksichtigen sind, nicht möglich ist, den TVOC-Wert als Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung zu verwenden, sondern er vielmehr als Indikator für die Gesamtsituation und die eventuelle Notwendigkeit gezielter Einzelstoffbetrachtungen anzusehen ist. Es ist aber auch zu vermerken, dass die Richtlinie zur Bewertung der Luftqualität von Innenräumen [3] den TVOC Summenparameter für eine (konventionelle) Beurteilung verwendet (Tabelle 1).

Tabelle 1. Beurteilung von TVOC in der Innenraumluft – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW – Österreich)

Beurteilung der Summenkonzentration	Konzentrations-bereiche in mg/m³	Bemerkungen
Niedrig	< 0,25	Im langzeitigen Mittel bei Verwendung geeigneter Materialien in Innenräumen erreichbar
Durchschnittlich	0,25 - 0,5	
Geringfügig erhöht	0,5 - 1	Vermutlich spezifische Quellen von VOC im Raum vorhanden. Unmittelbar nach Abschluss von baulichen Maßnahmen sind Konzentrationen in diesem Bereich zu erwarten, wenn lösungs-mittelfreie Materialien eingesetzt wurden
Deutlich erhöht	1 - 3	Vermutlich von beschränkter Zahl von chemischen Stoffen verursacht und spezifische Quellen im Raum vorhanden
Stark erhöht	> 3	Unmittelbar nach Abschluss von baulichen Maßnahmen sind Konzentrationen in diesem Bereich zu erwarten, wenn lösungsmittelhältige Materialien eingesetzt wurden

Das BMLFUW gibt keine Empfehlungen für den Zeitpunkt der Bestimmung. Somit ist unklar, ab welchem Moment nach der Neuerrichtung der Container die gemessenen TVOC zu einer Beurteilung herangezogen werden sollen. Es ist in den Grundsätzen zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen und im darauffolgenden Schema (AgBB) ersichtlich [13], dass die TVOC Konzentration am Tag 28 ($TVOC_{28}$) für die Bewertung des Langzeitverhaltens der VOC-Emissionen eines Bauproduktes verwendet wird. Auch andere Ökolabels und Schemata verwenden den TVOC-Wert am Tag 28 als Basis zur Beurteilung der Langzeitemissionen [10] (ÖZ, AFFSET). Die Formaldehyd Klassifizierung der Bauprodukte nach EN 13986:2004 [4] beruht auch auf einem hypothetischen Ausgleich (Stabilisierung) der Formaldehyd Emissionen innerhalb der ersten 28 Tagen nach dem Einbau in die Prüfkammer (EN 717-1:2004).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung ermöglichen es nachzuvollziehen, inwieweit die TVOC-Werte am Tag 28 ab der Fertigstellung des Containers mit dem Ausgleichszustand übereinstimmen. Eine zeitlich versetzte Darstellung der Ergebnisse aus den TVOC-Bestimmungen ist in Abbildung 3 ersichtlich. Es ist daraus zu erkennen, dass die $TVOC_{28}$ -Werte im Brettsperrholz-, Lehm- und Nachrüst-Container nicht als Referenzwerte für das Langzeitverhalten der VOC Emissionen angesehen werden können. In Abbildung 4 ist klar zu erkennen, dass der Brettsperrholzcontainer nach ca. sechs Monaten einen Ausgleichszustand erreicht.

Im Fall des Lehm-Containers dauert dies etwa zwei Jahre.

Ganz im Gegenteil dazu können die $TVOC_{28}$-Konzentrationen des Referenzcontainers, der aus einem emissionsinerten Material aufgebaut wurde, als repräsentativ für das Langzeitverhalten der Innenraumluft-Emissionen genommen werden.

Es ist aus früheren Studien bekannt [7, 11], dass für Baumaterialien basierend auf Holz und Holzwersktoffen der $TVOC_{28}$-Wert ungeeignet für eine Langzeitvorhersage der Innenraumkonzentrationen ist.

Unabhängig von der Fragestellung ob die Konzentrationen am Tag 28 repräsentativ für die Langzeitemissionsverhalten sind, erreichten alle Container (mit Ausnahme des Lehm-Containers) eine niedrige VOC-Belastung der Innenraumluft (TVOC < 250 µg/m³ - Tabelle 1) spätestens drei Monaten nach der Errichtung. Für den Lehmcontainer konnte die VOC-Belastung der Innenraumluft erst ca. ein Jahr nach der Errichtung (entsprechend Tabelle 1) als durchschnittlich bezeichnet werden. Es ist auch zu berücksichtigen, dass die TVOC Emissionen in dem Lehmcontainer auf Grund des hohen Emissionspotentials der Materialien sehr Abhängig von der Innenraumtemperatur waren. Bei einer kurzfristigen Temperaturerhöhung von 20°C auf 33°C kam es nahezu zu einer Verdoppelung der TVOC-Konzentration (absolut ca. +500 µg/m³). Entsprechend Tabelle 1 führte dies kurzfristig zu einer Klassifizierung der Innenraumluft als erhöht.

Eine detaillierte Betrachtung der gefunden Einzelsubstanzen in den einzelnen Containern wird in Absatz 0 durchgeführt.

4.2 Formaldehyd-Emissionen

Die in den Containern bestimmten Formaldehyd-Konzentrationen (Abbildung 5) zeigen ein gewisses zeitabhängiges Verhalten (Reduktion) und Variationen, liegen jedoch allgemein auf einem geringen Niveau. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus mehreren anderen Studien (Abbildung 1), sind die in den Containern gemessenen Formaldehyd-Emissionen als normal zu bezeichnen.

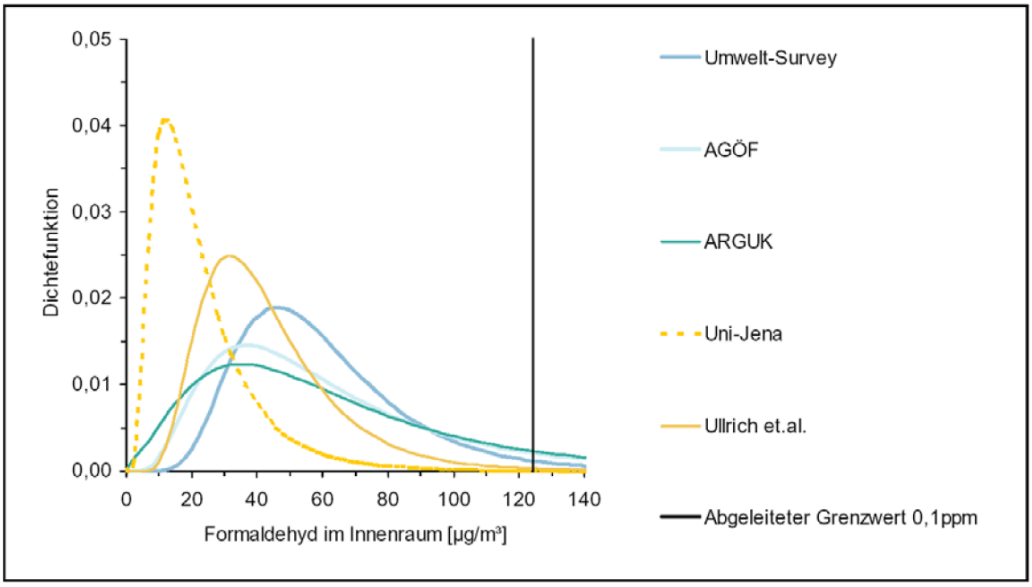

Abbildung 1. Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen, Daten aus mehreren Studien [2]**. Formaldehyd-Konzentrationen [µg/m³] (Kurven Generiert als Longonormal-Verteilung aus Perzentilwerten, ARGUK: Generierung der Verteilung aus Einzelmesswerten)**

Die in Abbildung 1 bestimmten Maxima der Dichtefunktionen von ca. 15 bis ca. 50 µg/m³ stimmen sehr gut mit den in dieser Studie gemessenen Werten von ca. 10 bis ca. 55 µg/m³ überein.

Es ist zu vermerken, dass im Gegensatz zu der TVOC-Belastung, die Formaldehyd-Belastung der Innenraumluft des Lehm-Containers am niedrigsten war. Die Temperaturabhängigkeit der Formaldehydemissionen im Lehm-Container war aber im gleichen Ausmaß, wie bei den TVOC-Emissionen präsent (Abbildung 4 und Abbildung 5).

Tabelle 2. Immissionsrelevante Parameter der untersuchten Container

Container	Volumen [m³]	Emissionsflächen [m²]		Materialmasse [kg]	Luftwechselrate bei 50Pa Druckunterschied* [1/h]	Temperatur [°C]	Möblierung
Referenz-container	69	Fußboden Kunststoff:	27	nb	nb	17-26	Neue, beschichtete Spanplatten. Möblierung lt. Anlage (Plan).
		Wand Gipskarton:	ca. 15	nb			
		beschichtete Spanplatten:	ca. 60	400-500			
		Tür Metall:	ca. 2	nb			
		Fenster (Rahmen: Kunststoff):	ca. 4,4	nb			
Brettsperrholz-container	69	Fußboden Lärche:	ca. 27	ca. 300	0.5	18-25	Neue, beschichtete Spanplatten. Möblierung lt. Anlage (Plan).
		Wand Brettsperrholz Fichte:	ca. 75	3600			
		Tür Lärchenfurnier:	ca. 2,5	nb			
		Fenster (Rahmen: Lärche):	ca. 4,4	nb			
Lehmcontainer	68	Fußboden Lärche:	ca. 27	ca. 300	0.77	18-25	keine
		Wand Lehm mit Anstrich:	ca. 75	ca. 2000			
		Tür Lärchenfurnier:	ca. 2,5	nb			
		Fenster (Rahmen: Lärche, Alu):	ca. 4,4	nb			
Nachrüst-container	ca. 68	Fußboden Kunststoff:	ca. 27	nb	nb	17-26	keine
		Wand Lehmputz auf PU Platten	29	ca. 1000			
		beschichtete Spanplatten:	ca. 46	400-500			
		Tür Metall:	ca. 2	nb			
		Fenster (Rahmen: Kunststoff):	ca. 2,2	nb			

*lt. Blower door Messung

nb – nicht bestimmt

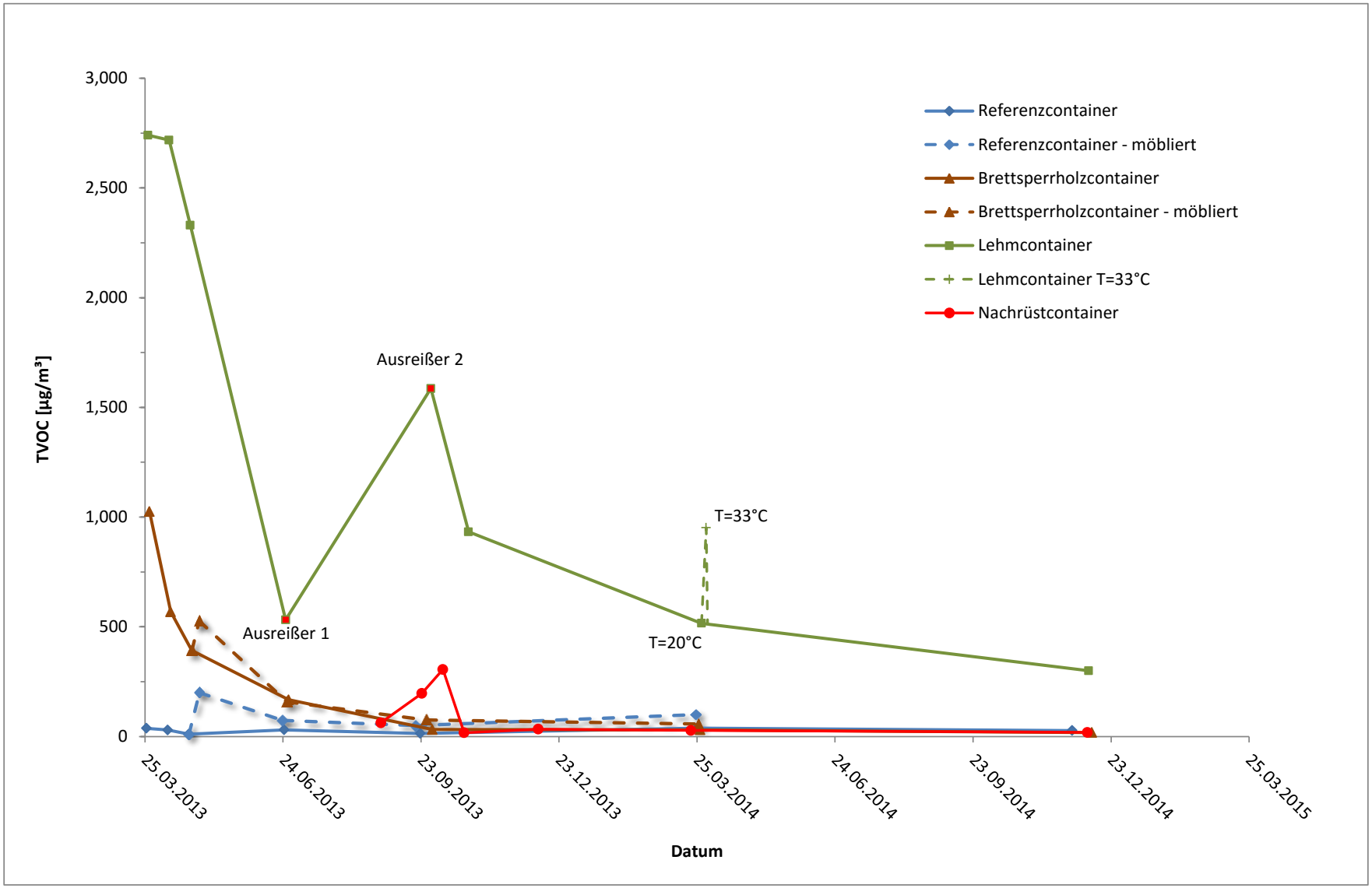

Abbildung 2. Graphische Darstellung der bestimmten TVOC-Konzentrationen (chronologisch)

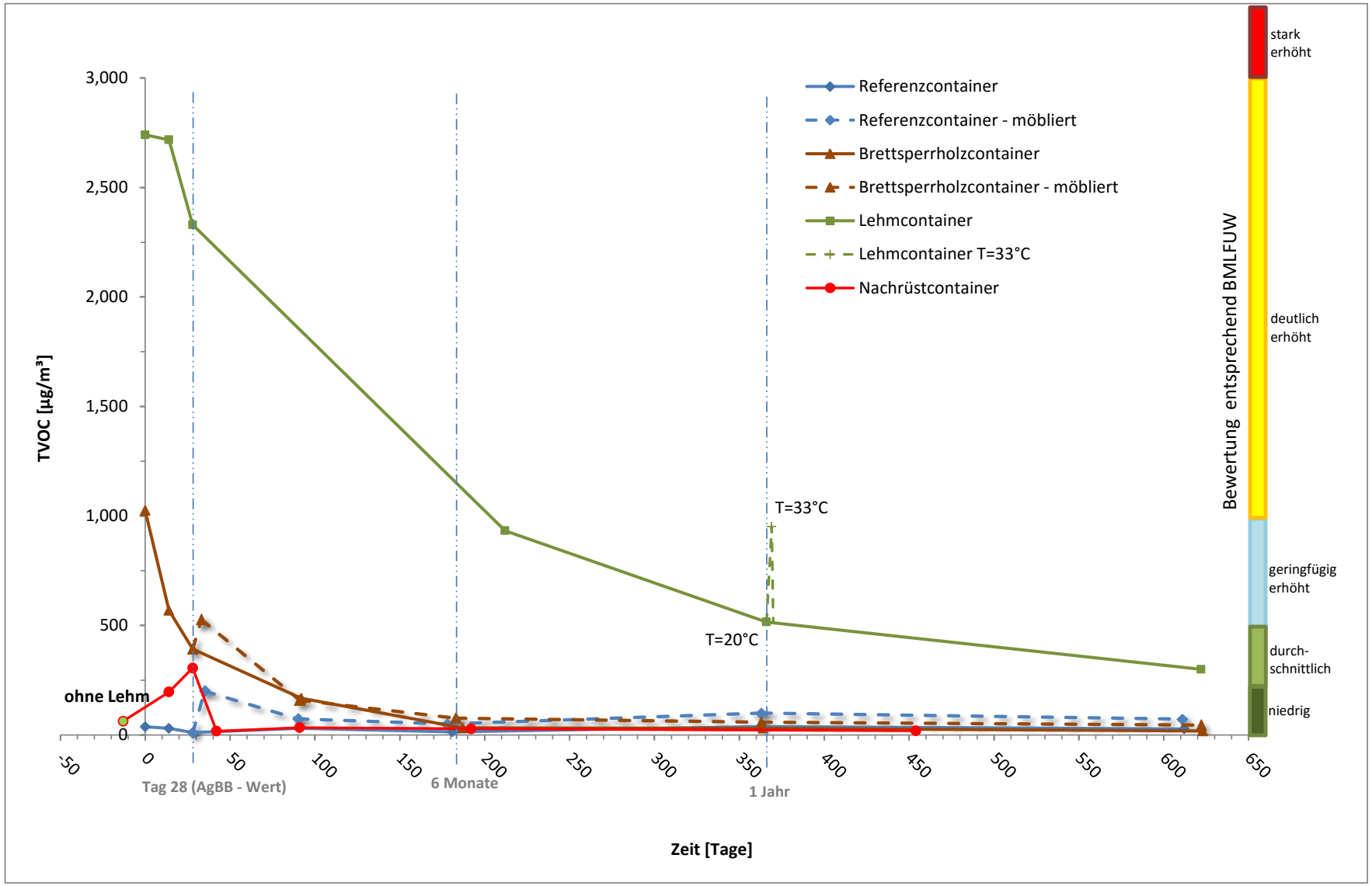

Abbildung 3. Änderung der TVOC-Konzentrationen (zeitversetzt und ohne Ausreißer)

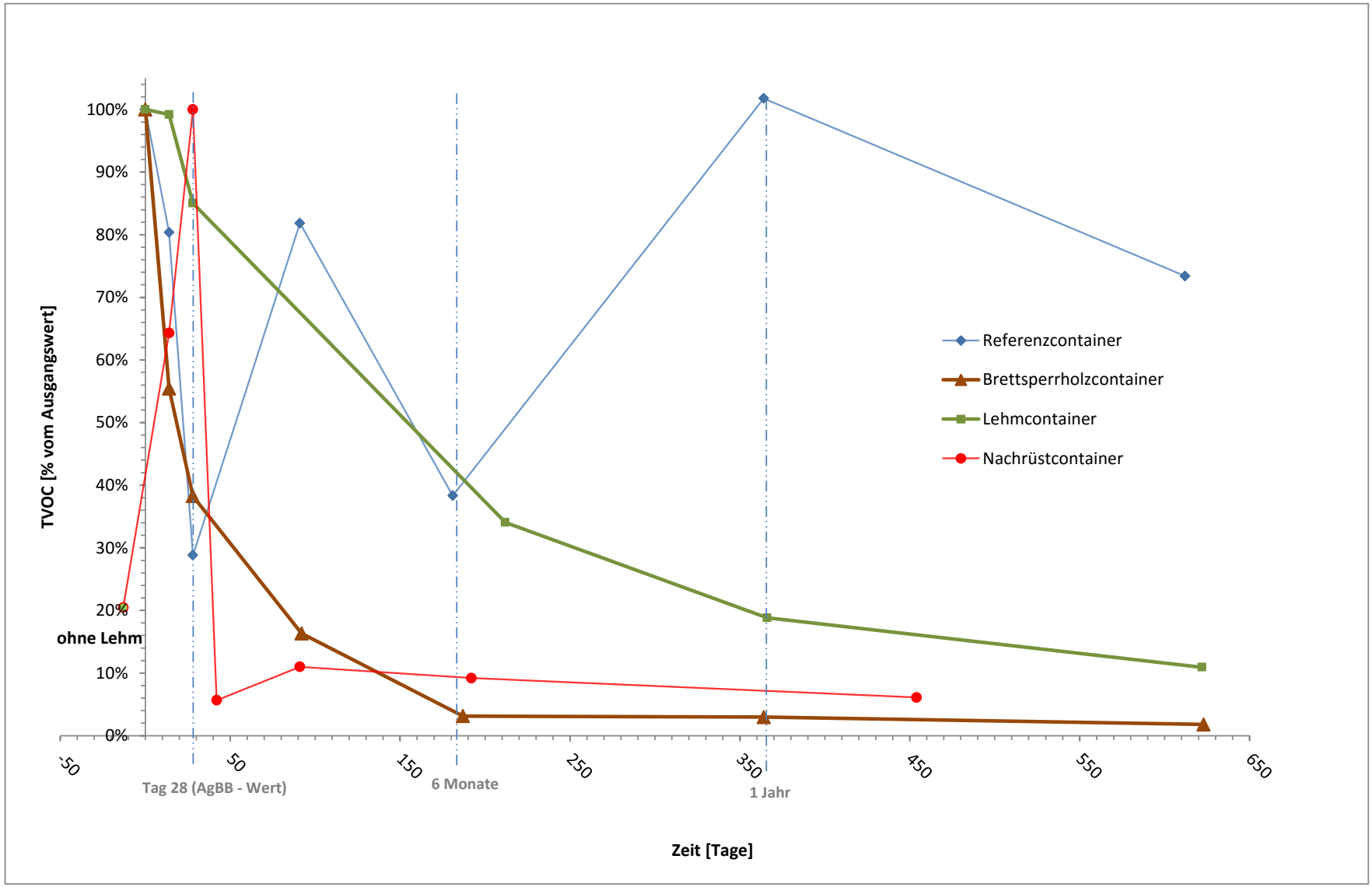

Abbildung 4. Normierte Darstellung der TVOC-Konzentrationen zur Abschätzung des Ausgleichzustands

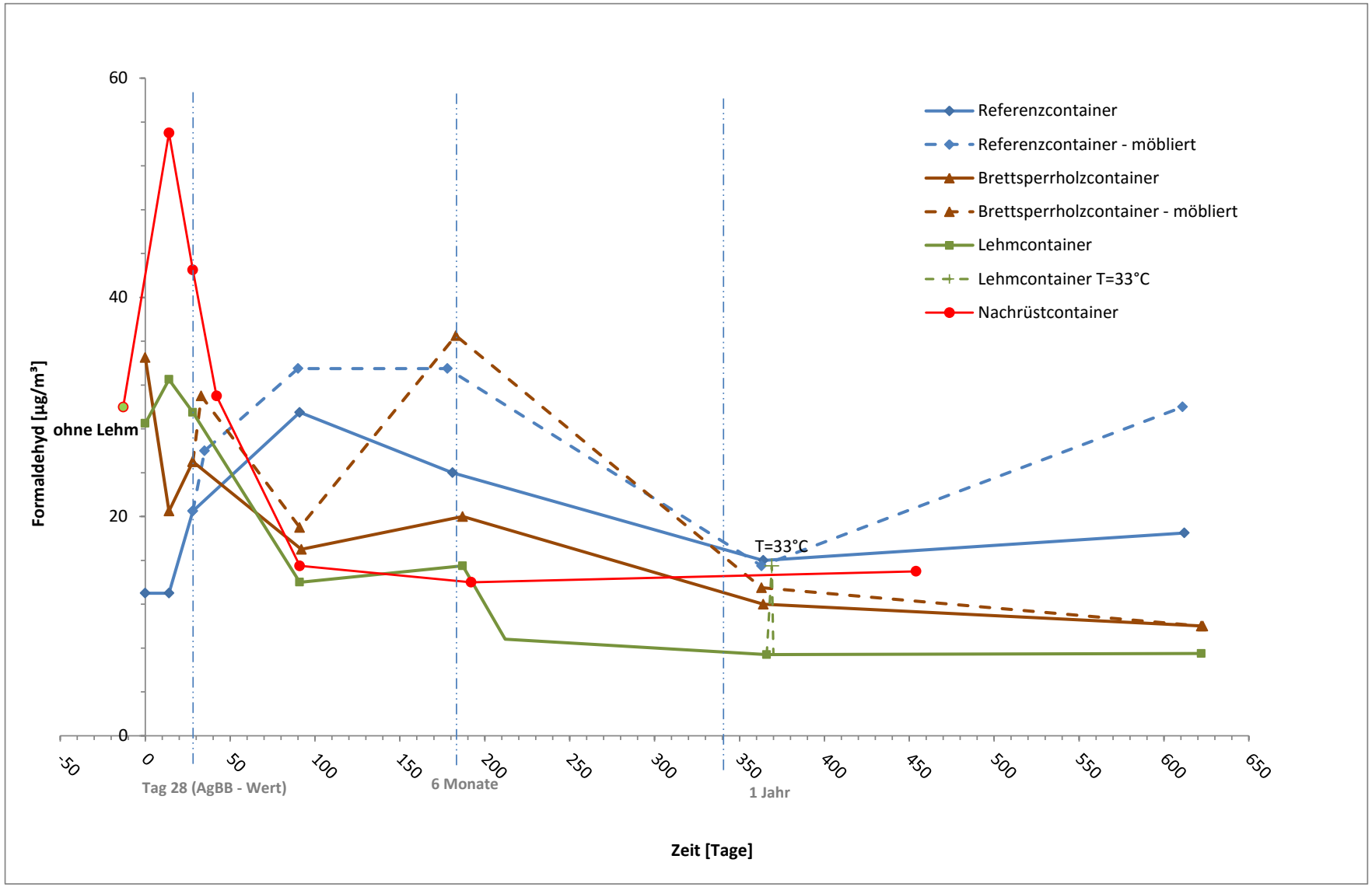

Abbildung 5. Zeitliche Änderung der Formaldehyd-Konzentrationen

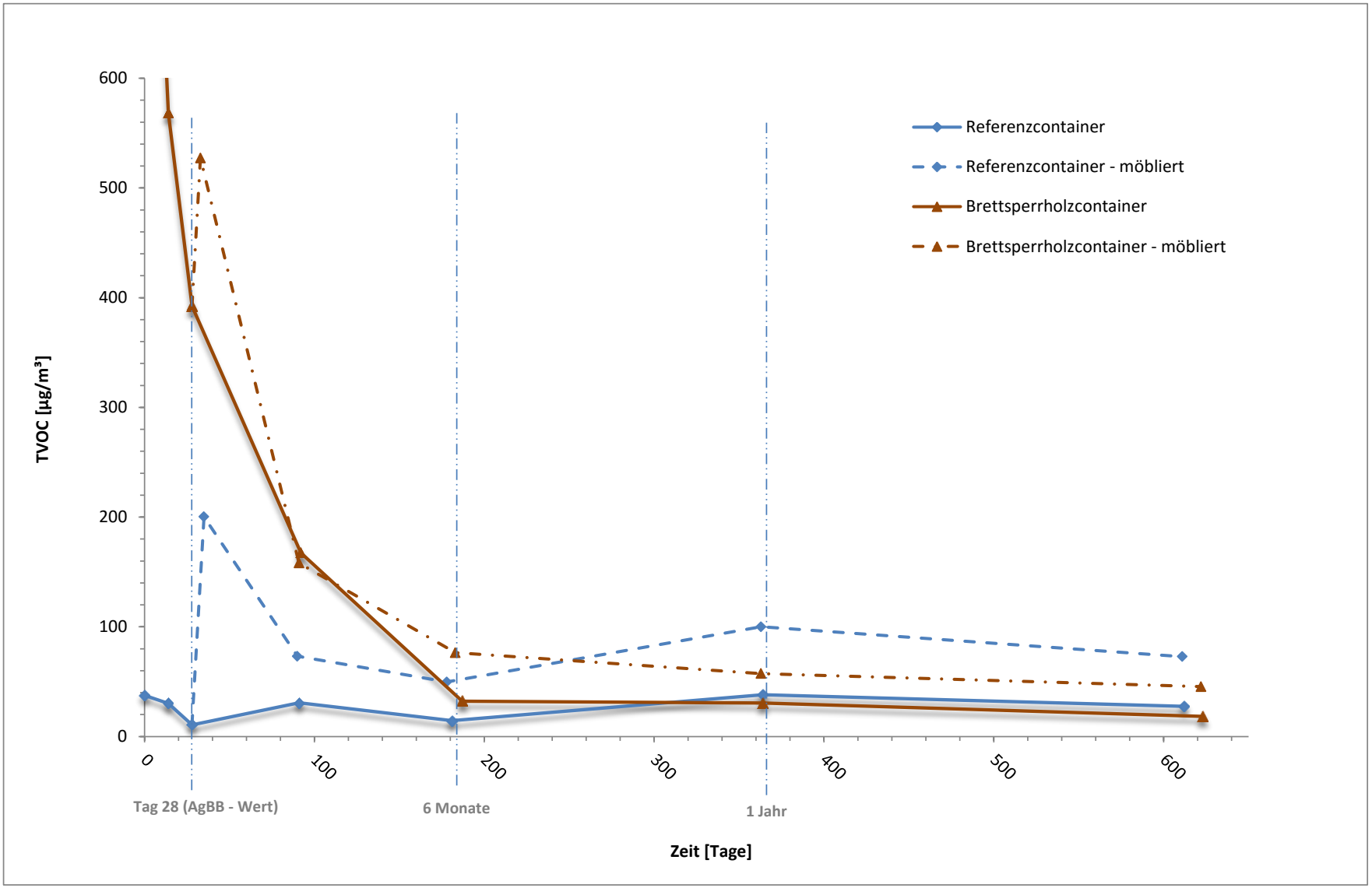

Abbildung 6. Einfluss der Möblierung auf die VOC-Konzentrationen

4.3 Einfluss der Möblierung auf die VOC- und Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft

Die ausgewählte Möblierung führte zu einer messbaren Erhöhung der TVOC- und Formaldehyd-Konzentrationen in den untersuchten Containern (Tabelle 3). Die durchschnittliche absolute Erhöhung der gemessenen TVOC-Konzentration im Brettsperrholz- bzw. Referenz-Container betrug ca. 45 bzw. 75 µg/m³. Für die Formaldehyd-Konzentration betrug die Erhöhung ca. 5 µg/m³ in beiden Containern.

Die durch die Möblierung verursachte durchschnittliche relative Erhöhung der TVOC-Emissionen für die Zeit der Beobachtung (580 Tage) betrug ca. 80% bzw. ca. 500% (für den Brettsperrholz- bzw. den Referenz-Container). Dies zeigt, dass in Räumlichkeiten mit kleinem Innenraumvolumen, die Möblierung einen größeren Einfluss auf die Innenraumluftqualität als die Baumaterialien haben kann.

Der durch die Möblierung verursachte Anstieg der Formaldehydemissionen betrug ca. 27% für beide Container.

Qualitativ gehörten die durch die Möblierung eingebrachten VOC zu der Gruppe der nadelholztypischen Monoterpene wie alpha-Pinen, Camphen, beta-Pinen, 3-Caren und Limonen (Tabelle 5 und

Tabelle 6). Diese Substanzen sind in den eingebrachten Konzentrationen als unbedenklich zu betrachten [6, 9].

Es wurde auch ein leichter Anstieg der Konzentrationen der nadelholztypischen Aldehyde Pentanal und Hexanal in den möblierten Räumen festgestellt. Der beobachtete Konzentrationsanstieg kann jedoch als unbedenklich betrachtet werden [8].

Tabelle 3. Einfluss der Möblierung auf die VOC- und Formaldehyd-Konzentrationen

Parameter	Container	Zeit [d]	Absolute Erhöhung [µg/m³]		Relative Erhöhung [%]	
			Durchschnitt	Maximum	Durchschnitt	Maximum
TVOC	Referenzcontainer	580	75	189	494%	1756%
	Brettsperrholzcontainer		45	135	80%	148%
Formaldehyd	Referenzcontainer		6	12	28%	62%
	Brettsperrholzcontainer		5	17	26%	83%

4.4 Einfluss der Außenluft auf die Innenraumluftqualität

Die folgenden Substanzen (nach abnehmender Konzentration gereiht) wurden am häufigsten in der Außenluft (in Konzentrationen im Bereich von 0,3 bis 6,0 µg/m³) identifiziert: Essigsäure, 2-Ethylhexanol, Nonanal, Phenol, Decanal, Benzaldehyd, Limonen, a-Pinen, Acetophenon, p-Xylol, Butylacetat, Benzol, Benzylalkohol. Der Durchschnittliche TVOC-Wert der Außenluft betrug ca. 13 µg/m³. Da die Probenahmen der Außenluft nicht immer am selben Tag wie die Probenahme der Innenraumluft erfolgte, wurden diese Hintergrundkonzentrationen bei der Berechnung der

TVOC-Werte der einzelnen Container nicht abgezogen. Tabelle 4 zeigt eine Relation der TVOC-Konzentrationen zwischen der Außenluft und der Innenluft. Es ist anzunehmen, dass die Außenluftzusammensetzung (die sehr Ort- und Zeit- spezifisch ist) in dem konkreten Fall zu einer sehr geringen bis moderaten relativen Erhöhung der TVOC Innenraumluftkonzentrationen führen kann.

Tabelle 4. Relation der TVOC-Konzentration in der Außenluft zur Innenluft

Container	% von TVOC	Durchschnittskonzentration an TVOC in der Außenluft [µg/m³]
Referenz	20%	13 (± 11)*
CLT	2%	
Lehm	1%	
Nachrüst	20%	

*Standardabweichung (n=15)

4.5 Abgleich der gemessenen VOC mit Literaturdaten

Es ist aus dem qualitativen und quantitativen Abgleich der gemessenen VOC mit Daten aus früheren Innenraumluftmessungen (AGÖF 2006-2012) ersichtlich (Tabelle 5 bis

Tabelle 8), dass viele Substanzen (und bei dem Lehmcontainer auch der TVOC-Wert) in Konzentrationen über den Auffälligkeitswerten liegen (Werte in Blau markiert). Bei dem Referenz- und dem Brettsperrholz-Container trug die Möblierung auch wesentlich zu den gefundenen VOC-Konzentrationen bei und die Anzahl an auffälligen Substanzen erhöhte sich zusätzlich. Bei einer gesundheitsbezogene Evaluierung der erhöhten Werte (durch Vergleich mit den AgBB 2012 NIK-Werten) ist ersichtlich, dass es bei keiner Substanz zu einem Überschreiten der NIK-Werte kam. Einzige Ausnahme war der TVOC-Wert des Lehm-Containers, welcher sechs Monate nach der Neuerstellung noch über dem AgBB-Grenzwert von 1000 µg/m³ war. Erst zum Messpunkt am Tag 212 nach der Neuerstellung des Lehmcontainers (Abbildung 3) lag der TVOC-Wert unter 1000 µg/m³. Ab diesem Zeitpunkt konnte die Innenraumluftbeladung mit VOC als geringfügig erhöht eingestuft werden (Tabelle 1). Trotz des hohen TVOC-Werts in der Innenraumluft des Lehm-Containers, ist basierend auf der Einzelstoffbewertung aller VOC und unter Berücksichtigung der NIK-Werte nicht davon auszugehen, dass die beobachtete VOC-Mischung eine negative gesundheitliche Beeinflussung haben kann.

Benzol wird typischerweise im urbanen Raum in Konzentrationen von ca. 0,5 bis 3 µg/m³ nachgewiesen ([1,14] und 4.4). Daher sind die festgestellten Konzentrationen von Benzol im Brettsperrholz- und im Nachrüstcontainer (Tabelle 6 und Tabelle 8) nicht unbedingt in Zusammenhang mit den verwendeten Baustoffen zu stellen.

Der Vergleich der in den Containern gemessenen Werten mit dem AGÖF Orientierungs- und dem AgBB NIK-Wert zeigt, dass die Innenraumluftbelastung mit Formaldehyd in allen Containern

als durchschnittlich und unterhalb des AgBB-Grenzwerts zu bezeichnen war. Dies trifft auch auf die möblierten Container zu.

Tabelle 5. Einzelstoffbetrachtung Referenzcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)

Referenzcontainer	CAS	Konzentration [µg/m³]							
Start am: 26.03.2013		23.04.2013	30.04.2013	23.09.2013	25.03.2014	28.11.2014	AGÖF 2013		NIK-AgBB 2015
Flüchtige organische Verbindungen		**28 Tage**	**Möbliert (max)**	**6 Monate**	**1 Jahr**	**20 Monate**	**P90**	**P50**	
Formaldehyd	50-00-0	21	34	24	16	19	81	35	100
TVOC		11	203	16	43	31	1572	360	1000
Heptan	142-82-5	0	2	0	0	0	9	2	21000
Pentanal	110-62-3	0	5	0	0	0	20.3	4	800
1-Butanol	71-36-3	0	0	0	0	3	35	8	3000
Hexanal	66-25-1	4	24	0	0	3	55	11	900
Nonan	111-84-2	0	2	0	0	0	5	<1	6000
2-Butoxyethanol	111-76-2	0	8	3	3	2	13.4	1.9	1100
a-Pinen	80-56-8	7	**108**	3	4	2	68	4	2500
Camphen	79-92-5	0	**3**	0	0	0	2.1	<1	1400
Benzaldehyd	100-52-7	0	0	0	5	2	15	4	90
Hexansäure	142-62-1	0	0	0	0	2	5	<1	490
p-Cymen	99-87-6	0	**4**	0	0	0	2	<1	1000
beta Pinen	127-91-3	0	**26**	0	0	0	8.7	1	1400
2,2-Ethoxyethoxyethanol	111-90-0	0	**8**	4	<5	5	<7	<1	350
3-Caren	13466-78-9	0	4	0	0	0	25.9	1	1500
2-Ethyl-1-Hexanol	104-76-7	0	0	4	9	4	13	3	300
Limonen	138-86-3	0	4	2	3	5	23	4	5000
Diethylenglykolmonomethylether	111-77-3	0	0	0	**8**	0	5	<5	-
Nonanal	124-19-6	0	5	0	2	0	19	6	900
Benzothiazol	95-16-9	0	0	0	**4**	0	1	<1	-
Phenol	108-95-2	0	0	0	0	3	3	<1	10

Tabelle 6. Einzelstoffbetrachtung Brettsperrholzcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)

Brettsperrholzcontainer	CAS	Konzentration [µg/m³]							
Start am: 28.03.2013		25.04.2013	30.04.2013	01.10.2013	27.03.2014	11.12.2014	AGÖF 2013		NIK-AgBB 2015
Flüchtige organische Verbindungen		**28 Tage**	**Möbliert (max)**	**6 Monate**	**1 Jahr**	**20 Monate**	**P90**	**P50**	
Formaldehyd	50-00-0	25	38	20	12	10	81	35	100
TVOC		393	526	37	32	19	1572	360	1000
Pentanal	110-62-3	10	14	<2	<2	1	20	4	800
Cyclohexan	110-82-7	<2	3	<2	<2	<2	9	1	6000
Benzol	71-43-2	<2	<2	<2	<2	1*	3	1	1*
1-Pentanol	1576-87-0	<2	**6**	<2	<2	<2	1	<1	12
Hexanal	66-25-1	22	39	2	<2	3	55	11	900
Hexansäure	142-62-1	4	<2	<2	4	3	5	<1	490
a-Pinen	80-56-8	**151**	**189**	12	10	4	68	4	2500
Camphen	79-92-5	**25**	**7**	<2	<2	<2	2	<1	1400
p-Cymen	99-87-6	**18**	**9**	**3**	<2	<2	2	<1	1000
b-Pinen	127-91-3	**51**	**73**	2	<2	2	9	1	1400
Dekan	124-18-5	<2	8	<2	<2	<2	11	1	6000
3-Caren	13466-78-9	**39**	**42**	10	3	2	26	1	1500
Limonen	138-86-3	**48**	**69**	8	4	3	23	4	5000
Diethylbenzol	135-01-3	<2	14	<2	<2	<2	-	-	450
Undekan	1120-21-4	**16**	**21**	<2	3	<2	14	2	6000
Dodekan	112-40-3	9	**18**	<2	3	<2	9	1	6000
2,6-Dimethylundekan	17301-23-4	<2	14	<2	<2	<2	-	-	6000
Menthol	89-78-1	<2	<2	<2	**2**	<2	<1	<1	1400
Dekanal	112-31-2	<2	<2	<2	3	<2	7	2	900
Phenol	108-95-2	<2	<2	<2	<2	2	3	<1	10

* Eingestuft als karzinogene Substanz der Klasse 1A und ab einer Konzentration von 1 µg/m³ bewertet

Tabelle 7. Einzelstoffbetrachtung Lehmcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)

Lehmcontainer	CAS	Konzentration [µg/m³]						
Start am: 27.03.2013		24.04.2013	30.09.2013	28.03.2014	09.12.2014	AGÖF 2013		NIK-AgBB
Flüchtige organische Verbindungen		**28 Tage**	**6 Monate**	**1 Jahr**	**20 Monate**	**P90**	**P50**	**2015**
Formaldehyd	50-00-0	30	16	7	8	81	35	100
Ethylacetat	141-78-6	<2	<2	12	0	22.9	3	VVOC
TVOC		**2331**	**1586**	504	302	1572	360	1000
Pentanal	110-62-3	11	9	2	4	20.3	4	800
1-Butanol	71-36-3	<2	<2	<2	3	35	8	3000
1-Pentanol	71-41-0	<2	<2	3	3	5.4	<1	730
Hexanal	66-25-1	28	20	7	13	55	11	900
Pentansäure	109-52-4	<2	<2	<2	2	2	<1	420
p-Xylol	106-42-3	<2	<2	6	<2	29	3	500
Tricyclen	508-32-7	<2	<2	9	4	-	-	1500
n.i. Terpen	-	3	<2	<2	<2	-	-	1400
a-Pinen	80-56-8	**590**	**230**	33	12	68	4	2500
Camphen	79-92-5	**311**	**182**	**88**	**70**	2.1	<1	1400
Benzaldehyd	100-52-7	<2	<2	6	2	15	4	90
p-Cymen	99-87-6	**90**	**136**	<2	<2	<7	<1	1000
b-Pinen	127-91-3	**40**	**26**	5	2	8.7	1	1400
Myrcen	123-35-3	**16**	<2	<2	**3**	2	<1	1400
n.i. Terpen	-	9	10	<2	<2	-	-	1400
Hexansäure	142-62-1	<2	<2	<2	4	5	<1	490
3-Caren	13466-78-9	**974**	**709**	**90**	**85**	25.9	1	1500
p-Cymol	100-52-7	<2	<2	**187**	**47**	15	4	90
2-Ethylhexanol	104-76-7	<2	<2	8	<2	13	3	300
m oder o-Cymen	535-77-3/527-84-4	**8**	<2	<2	<2	1	<1	1000
Limonen	138-86-3	**214**	**229**	**27**	**27**	23	4	5000
g-Terpinen	99-85-4	14	11	5	3	<1.5	<1.5	1400
a-Terpinolen	586-62-9	23	24	<2	11	-	-	1500
Nonanal	124-19-6	<2	<2	3	<2	19	6	900
Undekan	1120-21-4	<2	<2	6	<2	14	2	6000
Dodekan	112-40-3	<2	<2	8	<2	9	1	6000
Dekanal	112-31-2	<2	<2	5	<2	7	2	900
Tridekan	629-50-5	<2	<2	**6**	<2	5	1	6000
a-Terpinen	99-86-5	<2	<2	<2	3	<1.5	<1	1400
Fenchol	1632-73-1	<2	<2	<2	2	-	-	1500
Isoborneol	507-70-0	<2	<2	<2	2	<1	<1	1400

Tabelle 8. Einzelstoffbetrachtung Nachrüstcontainer (ad. AGÖF: Perzentil-Werte für 90% P90 und 50% P50)

Nachrüstcontainer	CAS	Konzentration [µg/m³]					
Start am: 24.09.2013		08.10.2013	21.03.2014	08.12.2014	AGÖF 2013		NIK-AgBB 2015
Flüchtige organische Verbindungen		**28 Tage**	**6 Monate**	**1 Jahr**	**P90**	**P50**	
Formaldehyd	50-00-0	43	14	15	81	35	100
	TVOC	300	28	24	1572	360	1000
1-Butanol	71-36-3	<2	<2	6	35	8	3000
Benzol	71-43-2	<2	<2	1*	3	1	1*
Hexanal	66-25-1	<2	<2	2	55	11	900
a-Pinen	80-56-8	19	5	2	68	4	2500
Benzaldehyd	100-52-7	<2	3	2	15	4	90
3-Caren	13466-78-9	10	<2	<2	25.9	1	1500
2-Ethyl-1-Hexanol	104-76-7	**30**	4	2	13	3	300
Limonen	138-86-3	13	4	3	23	4	5000
Trimethylbenzol	108-67-8	<2	2	<2	3	<1	450
Benzylalkohol	100-51-6	<2	<2	<2	4.6	<1	440
Undekan	1120-21-4	**16**	5	<2	14	2	6000
nicht identifizierbare verzweigte Alkane	-	212	<2	<2	-	-	6000
Dodekan	112-40-3	<2	7	<2	9	1	6000
Hexansäure	142-62-1	<2	<2	2	5	<1	490
Phenol	108-95-2	<2	<2	3	3	<1	10
Benzothiazol	95-16-9	<2	<2	**2**	1	<1	-

* Eingestuft als karzinogene Substanz der Klasse 1A und ab einer Konzentration von 1 µg/m³ bewertet

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Zuge des Projektes konnte ein einzigartiger Einblick in die Nutzungsphase eines Containers ab der Fertigstellung bis hin zur mehrjährigen Benützung als Büroobjekt generiert werden. Es wurde das Langzeitemissionsverhalten der Container in Hinblick auf die Emissionen von organischen Verbindungen untersucht. Hierbei zeigte sich ein eindeutiges Abklingverhalten der baustoffbezogenen Emissionen. Dieses Abklingverhalten wird jedoch wesentlich durch äußere Faktoren, wie etwa das Raumklima, den Luftwechsel, ggf. auch die Außenluftqualität beeinflusst. Zusätzlich tragen die eingesetzten Inneneinrichtungsgegenstände, wie auch das allgemeine Nutzerverhalten wesentlich zur aktuellen Raumluftqualität bei. In Folge werden die wichtigsten Forschungsergebnisse dargestellt:

1. Allgemein unterscheidet sich das Emissionsverhalten der Baumaterialien in Abhängigkeit von der VOC-Beladung der Baumaterialien und dem VOC-Diffusionsmechanismus. Das bedeutet, dass jeder Baustoff eine mitunter lang anhaltende Quelle von VOC-Emissionen darstellt, und über die exponierten Flächen sowohl eine Abgabe, wie auch eine temporäre Anlagerung von VOC erfolgen kann. Um demnach in einem Container einen gewünschten Zielwert der VOC-Emissionen zu erreichen oder zu unterschreiten, kann es erforderlich sein, konstruktive oder logistische Lösungen zu suchen. Diese Lösungen können die Substitution von Rohstoffen (emissionsreiche durch emissionsarme Holzarten, Holzqualitäten und Bindemittel), maximales Ausmaß der Vorfertigung, verlängerte Auslüftephasen oder beispielsweise technische Belüftungen sein.
2. Je nach Baustoff wird ein Ausgleich der TVOC-Konzentration nach unterschiedlichem Zeitpunkt ab Fertigstellung erreicht. Im Fall des Referenzcontainers in Stahlbauweise konnten lediglich natürliche Variationen der TVOC-Konzentration beobachtet werden. Im Fall des Nachrüstcontainers kam es zunächst zu einem sehr starken Anstieg der TVOC-Konzentration, jedoch auch wieder zu einem raschen Abfall. Es kann angenommen werden, dass innerhalb der ersten beiden Monate nach einer derartigen Nachrüstung ein Ausgleichszustand erreicht wird. Für den Brettsperrholzcontainer zeigte sich, dass ein Ausgleichszustand etwa nach einem halben Jahr erreicht wird. In diesem Fall kann eine Bewertung des Containers (oder auch eines Bauproduktes) am Tag 28, wie etwa bei AgBB vorgesehen, nicht als repräsentatives Maß der zu erwartenden Langzeitemissionen angewendet werden. Für den Lehmcontainer konnte über den beinahe zweijährigen Beobachtungszeitraum eine starke Abnahme der TVOC-Konzentration, jedoch kein Erreichen eines Ausgleichszustandes beobachtet werden.
3. Für alle untersuchten Container, können die Langzeitemissionen als unbedenklich eingestuft werden. Entsprechend der Bewertung des BMLFUW können die Langzeitemissionen als niedrig, im Fall des Lehmcontainers zumindest als durchschnittlich bezeichnet werden. Mit Ausnahme des Lehmcontainers konnten ab dem sechsten Monat keine (statistisch) auffälligen Konzentrationen beobachtet werden. Auch in Hinblick auf die Einzelsubstanzen konnten keine besonderen Auffälligkeiten in Anbetracht der betreffenden Konzentrationen beobachtet

werden. In allen Fällen sind die beobachteten Einzelsubstanzen in den vorgefundenen Konzentrationen als unbedenklich zu bewerten.

4. Die Belastung der Innenraumluft mit Formaldehyd ist in allen Containern als gering zu bezeichnen. Der stärkste Anstieg der Formaldehydemissionen war für den Nachrüstcontainer zu beobachten; es folgte jedoch ein Abfall in den ersten Monaten auf ein mit den anderen Containern vergleichbares Niveau.
5. Die Ausstattung der Container mit Möbel auf Basis von Holzwerkstoffen hatte naturgemäß einen Einfluss auf die Formaldehydemissionen. Es wurden jedoch durch die Möblierung niemals Werte über 40 µg/m³ Formaldehyd gemessen. Der Beitrag der Möblierung auf die Formaldehydemissionen kann in Anbetracht der gegebenen Raumbeladung (entsprechend einer üblichen Nutzung als Bürocontainer) als gering betrachtet werden.
6. Der Einfluss der Möblierung auf die VOC-Emissionen wird vor allem zu Beginn als hoch eingestuft. Nach einer ersten Konditionierungsphase kommt es jedoch zu einem Abfall der zusätzlichen VOC-Emissionen aus den Möbeln. Ab spätestens sechs Monaten kann der Beitrag der Möblierung zum TVOC als einigermaßen konstante additive Komponente zur Innenraumluftzusammensetzung angenommen werden. Auch im möblierten Zustand wird nach Bewertung des BMLFUW die Langzeit-Innenraumluftbelastung in Hinblick auf den TVOC als niedrig eingestuft. Es ist nicht von einer gesundheitlichen Beeinflussung durch die Möblierung (vergleiche AgBB) auszugehen.

Es kann demnach geschlussfolgert werden, dass die untersuchten Alternativvarianten zu Stahlcontainern in Hinblick auf die Innenraumluftqualität und besonders in Hinblick auf die einzelnen emittierten Substanzen keinerlei nennenswerte Einschränkung darstellen. Optimierungsbedarf besteht jedoch in Hinblick auf das Abklingverhalten von Emissionen aus den Baustoffen bzw. der gesamten Konzentration. In Hinblick auf eine bauseitige Abnahme oder werkseitige Qualitätskontrolle, ist ein frühzeitiges Erreichen einer niedrigen Belastung der Innenraumluft anzustreben. Dies gilt besonders für den Lehmcontainer, aber auch für den Brettsperrholzcontainer.

6 Literatur

[1] AGÖF 2013. Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. http://agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte.html.

[2] BfR 2006. Formaldehyd – Exposition und offene Fragen. Expertengespräch vom 29.05.2006. Internet. (Zugriff vom 24.02.2015). http://www.bfr.bund.de/cm/232/formaldehyd_exposition_und_offene_fragen.pdf.

[3] BMLFUW 2004. *Richtlinie zur Bewertung der Luftqualität von Innenräumen. Bewertung der Innenraumluft flüchtige organische Verbindungen - VOC Summenparameter*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

[4] DIN EN 2004. *DIN EN 13986:2004. Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung*. DIN Deutsches Institut für Normung.

[5] DIN ISO 2013. *DIN ISO 16000-3. Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe*. DIN ISO,.

[6] H. Sagunski, B.H. 2003. Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α-Pinen). *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*. 46, 4 (2003), 346–352.

[7] Höllbacher, E., Rieder-Gradinger, C., Stratev, D. and Srebotnik, E. 2014. Measuring VOC emissions from wood-based building products under real room conditions in idealised model rooms. *International Wood Products Journal*. 5, 4 (2014), 207–211.

[8] Innenraumlufthygiene, Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der 2009. Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*. 52, (2009), 650–659.

[9] Innenraumlufthygiene, Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der 2010. Richtwerte für monocyclische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen) in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*. 53, (2010), 1206–1215.

[10] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und 2013. *Der Blaue Engel RAL-UZ 176. Emissionsarme Bodenbeläge, Paneele und Türen aus Holz und Holzwerkstoffen für Innenräume*. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung.

[11] S. Nagl, E. Habla S. Polleres 2014. *Indoor air quality - Innenraumluftqualität in Holzhausbauten. http://www.holzforschung.at/fileadmin/Content-Pool/Fotos_HFA/HFA-TiMBER/Timber_4WEB.pdf*. Holzforschung Austria.

[12] Umweltbundesamt Deutschland Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte. http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte.

[13] Umweltbundesamt Deutschland 2012. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten AgBB.

[14] ENVIRON International Corporation 2008. Teterboro airport, Teterboro, New Jersey. Detailed air quality evaluation. Final report. Available online at http://www.state.nj.us/dep/dsr/teterboro/environ-teterborofinalrep021108.pdf, checked on 4/16/2015.