Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Detectiemethoden ter ondersteuning bij de handhaving van het rookverbod

RIVM Briefrapport 090071001/2014
S. van de Nobelen et al.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Detectiemethoden ter ondersteuning bij de handhaving van het rookverbod

RIVM Briefrapport 090071001/2014
S. van de Nobelen et al.

Colofon

© RIVM 2014
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Dr. S. van de Nobelen (project medewerker), V&Z/GZB/PRS, RIVM
ing. H. Cremers (project medewerker), V&Z/GZB/PRS, RIVM
ing. R. Ramlal (project medewerker), M&V/VLH/M&M, RIVM
Dr. R. Talhout (project leider), V&Z/GZB/PRS, RIVM

Contact:
Reinskje Talhout, reinskje.talhout@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van NVWA, in het kader van project V/090071/14 Tabakswet

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Detectie methoden ter ondersteuning bij de handhaving van het rookverbod

Ondanks het rookverbod kunnen mensen last hebben van rook die 'weglekt' uit ruimten waar roken is toegestaan. Dat is de belangrijkste oorzaak van overlast in rookvrije ruimten. Het rookverbod is ingesteld om onvrijwillige blootstelling aan tabaksrook te voorkomen op de werkplek, in het openbaar vervoer en in publiek toegankelijke ruimten.

Er bestaan draagbare en gebruiksvriendelijke meetapparaten die inspecteurs van de NVWA kunnen helpen te bepalen of het rookverbod is overtreden. Dit kan bijdragen aan een veel gevoeligere en objectievere manier van handhaven. Momenteel worden deze inspecties nog uitgevoerd door in ruimten te kijken en te ruiken (zintuigelijke waarneming).

De mogelijkheid om meetapparaten voor dit doeleinde te gebruiken is door het RIVM onderzocht. Met de apparaten kan lucht worden bemonsterd, die daarna in het laboratorium geanalyseerd wordt. De concentratie tabaksrook wordt dan bepaald door de omgevingslucht te analyseren op de geselecteerde indicatorstoffen nicotine en 3-EP.

Aanbevolen wordt welke apparaten het meest geschikt zijn voor tabaksrook metingen. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of de apparaten voldoende gevoelig zijn om de concentratie tabaksrook te kunnen bepalen.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA), die erop toeziet dat de tabakswet wordt nageleefd. Om het rookverbod te handhaven en overlast zoveel mogelijk tegen te gaan wil de de NVWA tijdens inspecties beschikken over ondersteunende detectiemethoden.

Trefwoorden: omgevingstabaksrook (ETS), nicotine, 3-EP, detectiemethoden, blootstelling

Abstract

Detection methods to assist enforcement of the smoking ban

There are portable and easy to use measuring devices that can help NVWA surveillance teams to determine whether the smoking ban has been violated. The use of such devices can contribute to a much more sensitive and objective way of enforcement. Currently, surveillances are carried out by visiting premises and observing the presence of tobacco smoke visually and by its odor (sensory perception).

The possibility to use devices for this purpose has been investigated by the RIVM. The tested devices sample ambient air, which subsequently will be analyzed in the laboratory. The tobacco smoke concentration is then determined by analyzing the ambient air for selected indicator substances as nicotine and 3-EP.

Despite the smoking ban, people can be hindered by smoke ' leaking ' from areas where smoking is allowed. This is the main cause of nuisance in smoke-free areas. The smoking ban is set to ensure prevention of involuntarily exposure to environmental tobacco smoke (ETS) at work, in public transport and in public spaces.

In this study recommendations are made regarding the most suitable devices for ETS measurements. Future research will clarify whether the devices are sufficiently sensitive to determine the level of smoke leakage.

This study was commissioned by the Dutch Food and Consumer Product Safety Authority (NVWA), which ensures the Tobacco Act is complied with. To enforce the smoking ban and prevent inconvenience to non-smokers as much as possible the NVWA wishes to include supporting detection methods during their surveillances.

Keywords: environmental tobacco smoke (ETS), nicotine, 3-EP, detection methods, exposure

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave – 5

Samenvatting – 7

1 Inleiding – 11
1.1 Achtergrond – 11
1.2 Aanleiding en vraagstelling van dit rapport – 12
1.3 Overleg tussen NVWA en RIVM – 13
1.4 Organoleptische waarneming van omgevingstabaksrook – 14
1.4.1 Visuele waarneming – 14
1.4.2 Geurwaarneming – 14
1.5 Toegevoegde waarde chemisch analytische metingen – 15

2 ETS bronnen en indicatorstoffen – 17
2.1 ETS indicatorstoffen – 17
2.2 Stabiliteit ETS componenten over de tijd – 18
2.3 Bronnen van ETS – 18
2.3.1 Rookruimte – 18
2.3.2 Third-hand smoke – 19
2.3.3 E-sigaretten damp – 20

3 Chemisch-analytisch meten van ETS – 21
3.1 Bestaande detectiemethoden ETS – 21
3.2 Experimentele opzet voor het ontwikkelen van detectiemethoden voor ETS indicatorstoffen – 22
3.2.1 Keuze van technieken – 22
3.2.2 Proefopstelling voor bemonstering – 23
3.2.3 Chemische analyse ETS indicatorstoffen – 24
3.3 3M badge en Radiello – 25
3.3.1 Resultaten 3M badge en Radiello met en zonder diffusie houder – 25
3.4 SPME – 26
3.4.1 Resultaten SPME – 27
3.5 Elektronische detectiemethoden – 27
3.5.1 Resultaten elektronische detectiemethoden – 28
3.6 Canister – 29
3.6.1 Resultaten Canister – 29
3.7 Adsorptie buisje gekoppeld aan een vacuümpomp – 30
3.7.1 Resultaten adsorptie buisje gekoppeld aan een vacuümpomp – 31

4 Discussie – 33
4.1 Passieve en actieve bemonstering – 33
4.2 Directe monitoring – 33
4.3 Continue monitoring – 34
4.4 Gedigitaliseerde metingen – 35
4.5 Suggesties voor drempelwaarde ETS – 37
4.5.1 Organoleptische drempelwaarde – 37
4.5.2 Chemisch-analytische drempelwaarde – 38

5 Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek – 41

6 Literatuur – 43

7 Bijlage: Materialen en analyse methoden – 47
7.1 Materialen – 47
7.2 Tijdschema bemonstering – 47
7.3 Analyse methoden – 48

Samenvatting

Onvrijwillige blootstelling aan omgevingstabaksrook (ETS) door niet rokers (ook wel meeroken genoemd) is schadelijk voor de gezondheid. Meeroken verhoogt, net als actief roken, de kans op longkanker, hart- en vaatziekten en chronische luchtwegklachten. Met de invoering van het rookverbod zijn wettelijke maatregelen ingevoerd om blootstelling aan tabaksrook te voorkomen op de werkplek, in het openbaar vervoer en in publiek toegankelijke ruimten. In horecagelegenheden mag onder bepaalde voorwaarden worden gerookt in rookruimten of buiten op het terras.

Op het moment worden deze inspecties uitgevoerd door zintuigelijke waarneming (kijken en ruiken). Om het rookverbod te handhaven en overlast zoveel mogelijk tegen te gaan is er de wens vanuit de NVWA ondersteunende detectie methoden te gebuiken bij inspecties.
Ter ondersteuning van de handhaving van het rookverbod is een objectieve maatstaf nodig om te bepalen of de concentratie omgevingstabaksrook in een rookvrije ruimte te hoog is. De oorzaak kan zijn dat er in de ruimte gerookt is of doordat aanzienlijke lekkage (zwerfrook) uit rookruimten optreedt. Zintuigelijke waarneming van geur is variabel tussen personen en over de tijd en dus niet nauwkeurig. De concentratie van specifieke ETS indicator stoffen kunnen geanalyseerd worden in het laboratorium nadat gespecialiseerde luchtbemonstering plaats heeft gevonden (chemische analyse). Deze metingen aan omgevingstabaksrook zijn een waardevolle toevoeging aan de waarneming zoals die nu uitgevoerd wordt door de inspecteurs. Een combinatie van zintuigelijke waarneming en chemisch analytische metingen geeft een hogere gevoeligheid, reproduceerbaarheid en een kwantitatieve indicatie voor de detectie op aanwezigheid van omgevingstabaksrook.

Nicotine en een verbrandingsproduct van nicotine (3-EP) zijn gekozen als geschikte ETS specifieke gasfase indicatorstoffen. De tijdsduur waarover de stoffen na roken aanwezig blijven in de binnenlucht hangt af van de frequentie en efficientie van de aanwezige ventilatie, maar ook van de stabiliteit en het adsorptievermogen van de indicatorstoffen.
Literatuuronderzoek laat zien dat de afgelopen jaren diverse veldstudies zijn uitgevoerd waarbij ETS componenten bemonsterd werden. Hierbij is slechts een beperkt aantal meettechnieken gebruikt, welke over het algemeen een lage bemonsteringsefficiëntie hadden.
In deze studie hebben we verschillende testen uitgevoerd met diverse nieuwe detectietechnieken. De voor- en nadelen van de verschillende technieken in zowel praktisch gebruik, veelzijdigheid als kosten zijn naast elkaar gezet. Daarna is gekeken naar de mogelijkheid om nicotine en 3-EP te bemonsteren en vervolgens te detecteren. In navolging van deze resultaten zijn voor een aantal technieken zowel de bemonstering- als analyse methode geoptimaliseerd. Aan de hand hiervan worden aanbevelingen gedaan over de toepasbaarheid van de methode voor handhaving en zelfregulering. Afhankelijk van een eerste inschatting op basis van zintuigelijke waarneming over de mate waarin ETS aanwezigheid is in de ruimte kan voor verschillende typen meetmethoden gekozen worden. Meetapparatuur geschikt voor de handhaving kan gebruikt worden om ter plaatse over een korte tijdperiode te meten (directe meting) en kan goed ingezet worden bij een verdenking op of een constatering van een overtreding. Voorbeelden van geschikte apparatuur hiervoor zijn de vacuümpomp met bemonsteringsbuisje of een het gebruik van een vacuümvat (Canister). Indien meer opeenvolgende overtredingen geconstateerd worden bij

dezelfde horecagelegenheid kan besloten worden tot continue meting over een wat langere tijdsperiode. Meetapparatuur die hiervoor geschikt bevonden is zijn bemonsteringsbuisjes zoals de SPME en Radiello of de Elektronische neus (E-Nose).
Gedigitaliseerde metingen kunnen zowel ter plaatste als continue uitgevoerd worden en zijn voornamelijk geschikt om een indicatie te geven over de luchtkwaliteit. Het voordeel hiervan is dat de resultaten direct beschikbaar zijn en geen laboratoriumanalyse vereist is. Gedigitaliseerde metingen kunnen ook uitgevoerd worden in combinatie met luchtbemonstering. Het luchtmonster kan vervolgens geanalyseerd worden in het laboratorium om een uitspraak te kunnen doen over de concentratie tabaksrook in de lucht. In vervolgonderzoek kunnen de geselecteerde digitale luchtkwaliteit metingen (E-Nose, fijnstof- en koolmonoxide meter) nog verder geoptimaliseerd worden voor luchtkwaliteit beoordeling doeleinden.

Om de detectiemethoden toepasbaar te maken voor de praktijk is het noodzakelijk de geselecteerde detectiemethoden nog verder te optimaliseren. Om te bepalen of methoden geschikt zijn om op elke locatie (b.v. ook in grote ruimten) te meten moet de gevoeligheid van de methode vastgesteld worden. Om de hoeveelheid ETS in een ruimte te bepalen moet de concentratie van de indicatorstoffen kwantitatief bepaald kunnen worden. Wanneer het mogelijk is een aanvaardbare hoeveelheid ETS te kunnen bepalen is het ook mogelijk een drempelwaarde voor de hoeveelheid ETS vast te stellen. In dit rapport wordt ingegaan op de verschillende factoren die in acht genomen moeten worden bij het vaststellen van deze drempelwaarde.

Om ook bij een zeer geringe hoeveelheid ETS in de lucht die niet meer met het menselijk geurvermogen waar te nemen is een kwantitatieve analyse uit te voeren zijn zeer gevoelige technieken en analysemethoden nodig. In vervolgonderzoek kan bepaald worden wat de detectielimieten van verschillende meetapparatuur is ten aanzien van ETS indicatorstoffen.

De detectiemethoden die in dit project ontwikkeld zijn, kunnen waarschijnlijk spoedig in de praktijk toegepast worden als waardevolle toevoeging voor handhavings-doeleinden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het roken van tabak is wereldwijd een belangrijke vermijdbare oorzaak van verschillende ziekten en sterfte. De risico's voor de gezondheid van het roken van tabak beperken zich niet tot de roker zelf. De omstander wordt onvrijwillig blootgesteld aan omgevingstabaksrook (ETS, environmental tobacco smoke of SHS second hand smoke), wat men ook wel passief roken noemt. Omgevingstabakrook omvat de combinatie van rook afkomstig van een brandende sigaret en de rook die uitgeademd wordt door rokers. Omgevingstabaksrook bevat dezelfde componenten als de tabaksrook en is een complex mengsel van meer dan 4000 componenten. Hiervan zijn er meer dan 40 bekende en verdachte carcinogenen zoals 4-aminobifenyl, 2-naftylamine, benzeen, nikkel en een aantal polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAH/PAK) en N-nitrosaminen. De rook bestaat tevens uit een aantal irriterende stoffen zoals ammonia, stikstofoxiden, zwaveldioxide en diverse aldehyden. Daarnaast bevat het cardiovasculair gevaarlijke stoffen zoals koolmonoxide, nicotine en enkele PAHs.

Omgevingstabakrook is schadelijk voor de gezondheid en blootstelling eraan kan niet alleen de kans op longkanker maar ook op hart- en vaatziekten vergroten. Daarnaast is het irriterend voor de ogen en slijmvliezen en kan het luchtwegziekten induceren of –klachten verergeren. Om dergelijke gezondheidsklachten te voorkomen, dient blootstelling aan tabaksrook voorkomen te worden.

Er zijn daarom maatregelen getroffen om mensen te beschermen tegen blootstelling aan omgevingstabaksrook op de werkplek, in het openbaar vervoer en in publiek toegankelijke ruimten. Ook werknemers dienen in staat gesteld te worden hun werkzaamheden te verrichten zonder daarbij hinder of overlast van roken door anderen te ondervinden.

Sinds 1 juli 2008 is daarom in Nederland een rookverbod van kracht in de horeca en in openbare gebouwen en ruimtes, zoals ziekenhuizen, concertzalen en luchthavens. Box 1 vat de reikwijdte en naleving van het rookverbod samen. In horecagelegenheden mag onder bepaalde voorwaarden worden gerookt in rookruimten of buiten op het terras.

BOX 1: Reikwijdte en naleving van het horecarookverbod.

Bij inwerkingtreding van de Tabakswet in 1990 werden de eerste rookverboden geïntroduceerd, zij het beperkt en alleen voor de overheid en aan de overheid gelieerde sectoren. Met een wetswijziging werd het recht op een rookvrije werkplek uitgebreid naar alle organisaties. Sinds 1 januari 2004 moeten werkplekken rookvrij zijn, maar dit gold eerst nog niet in de horeca; sinds 1 juli 2008 wel. Onderzoek ter naleving van het rookverbod na invoering ervan in de periode 2008-2010 laat zien dat in horecagelegenheden als restaurants, sportkantines, cafetaria's zelden een overtreding plaats heeft gevonden (NVWA (2010)). In cafés en discotheken daarin tegen werd aanvankelijk regelmatig een overtreding geconstateerd. De laatste metingen laten een daling zien in het aantal overtredingen en een stijging van het percentage cafés en discotheken met een rookruimte tot 30% (NVWA, 2013).

De rookruimte dient aan bepaalde wettelijke eisen te voldoen zoals goed afsluitbaar zijn, uitsluitend in gebruik zijn als rookruimte en er mogen geen werkzaamheden in verricht worden. Bovendien mag er geen rookoverlast zijn in de aangrenzende ruimtes zijn en moet de overblijvende ruimte na plaatsen van een rookruimte groter zijn dan 35m^2 (Horecawet, 2014) (Tabakswet, 2014). Er zijn geen eisen gesteld aan de aanwezigheid van een afzuigsysteem in de rookruimte. Er is eveneens geen exacte definitie in de wet vastgelegd voor de term 'geen rookoverlast'. In paragraaf 4.5 wordt besproken hoe dit te definiëren.
In de open lucht mag wel gerookt worden, ook bij overkappingen, maar daarbij geldt dat een terras niet aan vier zijden afgesloten mag zijn. Er dient dus tenminste één zijde van een terras te zijn dat volledig met de open lucht in verbinding staat. Ook hier geldt de regel dat er buiten de ruimte geen hinder van de tabaksrook mag zijn. De populariteit van verwarmde rookvoorzieningen buiten is verdubbeld na invoering van het ook voor de horeca geldende rookverbod. Een steekproef genomen in 2010 laat zien dat bij 45% van de cafés en discotheken buiten gerookt kan worden op een verwarmd terras. Dit was in 2008 nog 22% (NVWA, 2010).

Ook horecagelegenheden als coffeeshops vallen onder de tabakswet. Het roken van joints waarin tabak vermengd zit is ook in coffeeshops verboden. Het roken van pure hennepproducten of die waar het hennepproduct gemengd word met tabak vervangende middelen is wel toegestaan.

Voor eenmanszaken (kleine cafés met een oppervlak kleiner dan 70 m^2) bestaat een uitzondering, zulke zaken hebben immers geen personeel dat hinder of overlast kan ondervinden (Tabakswet, 2014). Opvallend is dat steeds meer kleine cafés, waar gerookt mag worden, rookvrij zijn. In het najaar van 2012 was dit percentage nog 31%, in het najaar van 2013 was dit 43% (NVWA, 2013). Met een wijziging van de Tabakswet wil het kabinet op 1 juli 2014 ook het roken in deze eenmanszaken verbieden (Rijksoverheid, 2013). In deze wijziging staan de gezondheidsbelangen van zowel werknemers als bezoekers van de horeca centraal. Doordat meeroken niet alleen voor personeel, maar ook voor klanten schadelijk is, is er grond voor een geheel verbod. Om tot uitdrukking te brengen dat het niet om de subjectieve beleving gaat van personen die in een rokerige omgeving verkeren zijn de woorden 'hinder en overlast' in artikel 10 vervangen door de plicht een rookverbod in te stellen (van Rijn, 2014). Door deze wetswijziging is eveneens de optie voor een ventilatiesysteem als alternatief voor het rookverbod niet meer mogelijk. In de nabije toekomst wordt niet verwacht dat er afzuigsystemen op de markt komen die even effectief zijn als het rookverbod.

De speciaal aangewezen ruimten waar gerookt mag worden, zoals de rookruimten blijven voorlopig bestaan. De juridische haalbaarheid van een geheel rookvrije horeca waar rookruimtes niet worden toegestaan staat nog ter discussie. Een punt van discussie is onder andere de investeringen die sinds 2008 gedaan zijn in het bouwen van rookruimten.

1.2 Aanleiding en vraagstelling van dit rapport

De inspecteurs van de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA) zien toe op naleving van de tabakswet en voeren inspecties uit ter bescherming van personen die hinder of overlast van roken kunnen ondervinden. Dit doet de NVWA bij alle openbare ruimtes, besloten bedrijven en instellingen waar het rookverbod geldt. Naast reguliere inspecties worden inspecties uitgevoerd naar aanleiding van klachten en vinden er specifieke handhavingsacties plaats gericht op bepaalde branches (NVWA, 2008).
De controleur mag elke ruimte inspecteren om te bepalen of er gerookt is. Deze beoordeling vindt plaats aan de hand van een subjectieve zintuigelijke

waarneming (organoleptische waarneming, in dit geval ruiken en zien) van tabaksrook en tabaks- of rookproducten. Zintuigelijke waarneming is variabel tussen personen en over de tijd en dus niet erg nauwkeurig. Chemisch analytische metingen aan omgevingstabaksrook zijn een waardevolle toevoeging aan de waarneming zoals die nu uitgevoerd wordt door de inspecteurs. Er zou een wettelijke norm vast gesteld kunnen worden voor ETS die niet overschreven mag worden.

De aanleiding van dit rapport is dan ook de wens vanuit de NVWA naar ondersteunende detectiemethoden om de aanwezigheid van omgevingstabaksrook aan te tonen bij controles ter handhaving van een rookvrije horeca.

Ter inleiding van dit rapport worden de wensen en mogelijkheden ten aanzien van dit project besproken. Daarbij wordt ingegaan op hoe organoleptische waarneming zich verhouden ten opzichte van chemisch analytische metingen (zie paragraaf 1.4 en 1.5). Daarna wordt de keuze voor bepaalde chemisch analytisch te meten ETS indicatorstoffen en hun eigenschappen besproken (zie paragraaf 2.1). De aanwezigheid en verspreiding van ETS componenten is variabel over de tijd en hangt samen met diverse factoren (zie paragraaf 2.2). Kennis over de verschillende bronnen van ETS is van belang bij de opzet van een geschikte meetmethode en de interpretatie van de gegevens (zie paragraaf 2.3).
In het tweede gedeelte van dit rapport wordt ingegaan op de voor- en nadelen van diverse ETS detectie- en analyse methoden (zie hoofdstuk 3). Bestaande methoden die gebruikt worden om ETS te detecteren, worden vergeleken met de mogelijkheden van nog niet voor deze toepassing gebruikte technieken. Vervolgens hebben we in dit project een aantal van deze technieken getest op de mogelijkheden om ETS indicatorstoffen te bemonsteren en vervolgens te detecteren door middel van chemisch analytische analyse. Aan de hand van deze experimentele gegevens worden aanbevelingen gedaan welke meetmethode een optimale ondersteuning biedt bij welke vorm van inspectie. Hierbij komen zowel directe- als continue monitoring meetmethoden aan bod evenals de mogelijkheden voor het toepassen van gedigitaliseerde metingen.

1.3 Overleg tussen NVWA en RIVM

Bij aanvang van dit project heeft een aantal malen overleg plaats gevonden tussen het RIVM en de opdrachtgever NVWA. Tijdens twee brainstorms is gezamenlijk nagedacht over de wensen en mogelijkheden aangaande de ontwikkeling van een hulpmiddel bij het meten van (de mate van) blootstelling aan ETS.
In de bijeenkomsten kwam naar voren dat er de wens is overtredingen van het rookverbod of de aanwezigheid van omgevingstabaksrook vast te stellen aan de hand van andere detectiemethoden dan uitsluitend via organoleptische detectie. Daarbij gaat de voorkeur uit naar gebruiksvriendelijke apparatuur waarmee gemakkelijk op locatie gemeten kan worden , bij voorkeur op een geruisloze manier of zonder dat continue toezicht van de inspecteur nodig is. Gedacht kan worden aan een detector die over een wat langere periode detecteert en die eventueel buiten openingstijden geplaatst worden. Op deze manier worden moment opnamen en agressieve reacties van klanten gemeden en kunnen markers van omgevingstabakrook over een langere periode opgevangen worden.
In de besprekingen kwam eveneens naar voren dat al dan niet in combinatie met een langdurigere meting een ‘on the spot’ digitaal uitlees meetsysteem

gewenst is. Op die manier zouden meetresultaten vrijwel direct aan een groot publiek beschikbaar gesteld worden via bijvoorbeeld teletekst en internet. Een meetsysteem wat direct een signaal af zou kunnen geven over de hoeveelheid ETS in de ruimte zou het meest ideaal zijn. In de huidige alcohol- en drugtesten worden bijvoorbeeld bemonstering en detectie gekoppeld in een digitaal systeem. Deze gegevens kunnen draadloos verstuurd worden naar een computer. Bovendien bieden ze de gebruiker naast snelle en nauwkeurige analyses die direct af te lezen zijn op een grafisch LCD-scherm ook een GPS-module die de exacte geografische locatie aangeeft waar de meting is uitgevoerd. (Dräger, 2013).

1.4 Organoleptische waarneming van omgevingstabaksrook

Op het moment worden wereldwijd uitsluitend inspecties toegepast waarbij organoleptische waarnemingen gebruikt worden om te beoordelen of de tabakswet wordt overtreden. Voor zover bekend worden er nog geen inspecties uitgevoerd waarbij ook chemisch analytische metingen een rol spelen. In deze paragraaf wordt uitgebreider ingegaan op hoe organoleptische waarnemingen zich verhouden tot chemisch-analytische metingen.

1.4.1 *Visuele waarneming*

Naast de visuele waarneming van brandende sigaretten en rokende personen valt vaak ook de aanwezigheid van blauwachtige rook op in ruimten waar gerookt wordt. De rook die vrijkomt bij het smeulen van een sigaret ziet er blauw uit, maar als de rook uitgeademd wordt is hij wit van kleur (Glass, 2012). De kleur van de rook verandert omdat de grootte van de rookdeeltjes, bestaande uit een complex mengsel van gassen en kleine deeltjes, verandert. De rookdeeltjes die van de sigaret opstijgen zijn kleiner dan de golflengte van zichtbaar licht. Hierdoor wordt zichtbaar licht niet gereflecteerd maar slechts verstrooid. De blauwe lichtgolven worden meer verstrooid door de kleine rookdeeltjes omdat ze een kortere golflengte hebben. Verstrooiing van blauw licht treedt op bij een deeltjes grootte van 0,05-0,5 um. De deeltjes grootte van tabaksrook is ongeveer 0,01-1 um (Foust).
De kleur van de rook is niet specifiek voor tabaksrook. De grootte van de deeltjes waaruit de rook bestaat zijn kleiner dan 2,5 micrometer (PM2,5) en eveneens niet specifiek voor tabaksrook. Bronnen van zeer fijne stof (PM2,5) in het binnenmilieu zijn over het algemeen afkomstig van roken, koken, menselijke activiteit, branden van wierook en van bronnen uit het buiten milieu (Chao, 2002).
Het meten van kleinere deeltjes (zoals PM2.5) geeft een goede indicatie van ETS, maar het blijft aspecifiek en de kans op overschatting van de mate van blootstelling is aanwezig. Bij het meten van deze stofdeeltjes is verder geen analyse in het laboratorium vereist.

1.4.2 *Geurwaarneming*

Naast de visuele waarneming van tabaksrook wordt vaak ook de geur als typerend beschouwd. Uitgebreid onderzoek laat zien dat na blootstelling aan een chemische stof de waargenomen geur intensiteit, de mate van irritatie en de gerapporteerde gezondheidseffecten worden beïnvloed door vooringenomenheid en psychologische staat. Vele factoren beïnvloeden het waarnemende vermogen om chemische geuren te herkennen en detecteren, zoals etnische achtergrond, sekse, leeftijd en medische condities (Greenberg, Curtis, & Vearrier, 2013).
Een vluchtige chemische stof kan in meer of mindere mate geurend en/of irriterend zijn. De geur- en irritatiedrempel werken onafhankelijk van elkaar. De meeste geurstoffen activeren zowel het olfactorische systeem als het trigeminale

systeem. Met het olfactorische systeem worden eigenschappen als geur waargenomen. Door het trigeminale systeem worden zintuigelijke waarnemingen in het gezicht gedetecteerd zoals: brandend, tintelingen, scherp, samentrekkend, verkoelend. Dit zijn over het algemeen eigenschappen die als irriterend worden beschouwd.
Tussen beide systemen kan er communicatie over en weer plaats vinden. Het olfactorische systeem is gevoeliger, waardoor dit vaak eerder geactiveerd wordt dan het trigeminale systeem. Dit betekent dat de geurdrempel vaak bij lagere concentraties wordt bereikt dan de irritatiedrempel (Brand, 2006; Hummel & Livermore, 2002; Smeets & Dalton, 2005). Het trigeminale systeem lijkt een remmende werking te hebben op het olfactorische systeem. Irritatie remt het reukvermogen. Een stof kan een negatieve invloed hebben op de fysieke gezondheid wanneer de irritatiedrempel overschreden wordt en geïrriteerde ogen of luchtwegen ontstaan.

1.5 Toegevoegde waarde chemisch analytische metingen

Chemisch analytische metingen aan omgevingstabaksrook zijn een waardevolle toevoeging aan de organoleptische waarneming zoals die nu uitgevoerd wordt door de inspecteurs. Het menselijke geurvermogen is erg goed, maar variabel tussen personen en over de tijd en dus niet nauwkeurig.
Een combinatie van zintuigelijke waarneming en chemisch analytische metingen geeft een veel nauwkeurigere indicatie van de aanwezigheid van omgevingstabaksrook (ETS). Daarnaast wordt ook de precisie van de meting verhoogd door de uitkomsten van de methoden te combineren. Dit geeft meer mogelijkheden om de naleving van het rookverbod te optimaliseren en ook bij geringe overtredingen op te treden. Bijvoorbeeld in gevallen waar de visuele aanwezigheid van brandende sigaretten niet wordt aangetoond en ook op basis van geurwaarneming twijfel bestaat of gerookt is. Of in situaties waar van lekkage van ETS uit de rookruimte naar de rookvrije ruimte aanzienlijk is. Ook bij ernstigere overtredingen bied een chemisch analytische meting meerwaarde. Indien proces-verbaal opgemaakt wordt geeft deze informatie extra bewijs materiaal.
Bemonsteren van de rook en hierop volgende chemische analyse kan additionele informatie verschaffen. Zo kan meer informatie verkregen worden over soorten tabak en de aanwezigheid van specifieke gezondheidschadelijke stoffen in de rook. Daardoor kan meer precies kan worden aangetoond welke vorm van rook waargenomen wordt: tabaksrook, de rook van bijvoorbeeld kruiden-sigaretten, waterpijpen of de damp van elektronische sigaretten.

2 ETS bronnen en indicatorstoffen

2.1 ETS indicatorstoffen

Om de concentratie omgevingstabaksrook te meten is het nodig een marker te kiezen die specifiek is, gemakkelijk in de lucht te bepalen is, te meten is in lage concentraties en correleert met andere rookcomponenten binnen alle tabaksproducten. Voor een correcte representatie van de luchtkwaliteit en de blootstelling aan omgevingstabaksrook verdient het dan ook de aanbeveling meerdere markers te gebruiken bij de analyse.
De laatste jaren zijn verschillende markers voor omgevingstabaksrook onderzoek matig gebruikt in horecagelegenheden, teneinde een verminderde blootstelling aan te tonen van de medewerkers na instelling van het rookverbod. De meest gebruikte markers voor ETS zijn nicotine en een verbrandingsproduct van nicotine, 3-ethenylpyridine (3-EP). Nicotine is de beste indicatorstof voor omgevingstabaksrook, omdat deze stof vrijwel alleen vrijkomt bij het roken van tabak. Om nicotineconcentraties te verifiëren, bijvoorbeeld om uit te sluiten dat e-sigaretten of andere nicotinebronnen aanwezig zijn of waren, kan gebruik worden gemaakt van 3-ethenylpyridine (tabel 1). 3-ethenylpyridine is niet aanwezig in e-sigaretten (Schripp 2012).
Naast deze markers voor de gasfase van omgevingsrook is fijn stof een veel gebruikte indicator. Fijn stof is eenvoudiger en directer te meten. In binnen gelegenheden, waar geen andere bronnen van verbranding (koken, branden van kaarsen) aanwezig zijn, is een goede correlatie te vinden tussen nicotine en PM2,5 waarden. Metingen verricht aan PM2,5 die plaats hebben gevonden in de buitenlucht hebben een grotere variëteit (Fu et al., 2013).
Tabak specifieke nitrosaminen (TSNA) zoals Nitrosamine 4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK) zijn potente carcinogenen die aanwezig zijn in tabaksrook. NNK wordt gevormd door nitrosatie van nicotine. 4-methylnitrosamino-1-(3-pyridyl)-1-butanol (NNAL) is een metaboliet van NNK. NNK is gebruikt in enkele studies als marker voor ETS (Brunnemann, Cox, & Hoffmann, 1992). TSNA worden regelmatig gebruikt als biomarker (in urine) om de blootstelling aan ETS van horecamedewerkers te bepalen. Er zijn echter weinig gegevens over de concentraties van NNK of andere tabak-specifieke nitrosaminen in de binnenlucht na het roken van tabak. De bruikbaarheid van deze componenten als ETS markers is nog onvoldoende getest (Apelberg et al., 2013).

Chemische stof	Bemonstering methode	Opmerkingen
Nicotine (gas fase)	Actief, gebaseerd op adsorptie; Passief, gebaseerd op filtratie/diffusie;	Tabak specifiek Nicotine in ETS hoofdzakelijk in gas fase Veel gebruikte indicatorstof voor ETS
3-Ethenylpyridine (3-EP)	Actief, gebaseerd op adsorptie; Passief, gebaseerd op filtratie/diffusie	Tabak specifiek, pyrolyse product van nicotine Gas fase Detectieniveau is lager dan dat van nicotine
Tabak specifieke Nitrosamines	Actief, meting over langere periode	Tabak specifiek, potent long carcinogeen

Tabel 1: Samenvatting van tabak specifieke markers voor omgevingsrook en bemonstering methoden om deze markers te meten

2.2 Stabiliteit ETS componenten over de tijd

Het kan voorkomen dat ETS indicatorstoffen niet of moeilijk gedetecteerd worden terwijl er in de ruimte wel gerookt is. Een oorzaak hiervoor is het feit dat de concentratie van de meeste ETS componenten afneemt in de tijd.

De semi - vluchtige bestanddelen van ETS verschillen onderling in de tijdsperiode waarover ze aanwezig blijven in de lucht. De levensduur van een mengsel van ETS bestanddelen in de lucht is enkele uren afhankelijk van de ventilatiesnelheid, luchtvochtigheid en atmosferische omstandigheden (Morawska, 1997).
In de lucht kan nicotine reageren met fotochemisch opgewekte hydroxylradicalen en ozon. De gerapporteerde halfwaardetijd van nicotine in de omgevingsatmosfeer is ongeveer één dag (Spectrum, 2003) (tabel 2). In de binnenlucht, diffundeert gasvormige nicotine snel naar omliggende oppervlakken waarmee het een interactie aangaat en daardoor sneller verwijderd wordt uit de omgeving dan andere ETS componenten. Studies tonen aan dat de nicotine niveaus snel dalen als gevolg van adsorptie en opname aan verschillende omliggende oppervlakken (Piadea, D'andreas, & Sanders, 1999) (Van Loy, Riley, Daisey, & Nazaroff, 2001). Diverse studies laten zien dat naast nicotine ook andere groepen van ETS gerelateerde chemicaliën zoals N-nitrosaminen en PAKs atmosferische reacties aangaan. De geschatte halfwaardetijd in de gasfase van vluchtige PAK's in de atmosfeer door reactie met het hydroxyl-radicaal is rond de 2 tot 19 uur bij een levensduur van 3-27 uur (Atkinson & Arey, 1994). De gemiddelde halfwaardetijd van deeltjes benzo(a)pyreen in de atmosfeer wordt geschat op ongeveer 3,5 tot 10 dagen en de levensduur op 5 tot 15 dagen. De halfwaardetijd en levensduur van 3-EP is niet bekend.
Kortom, de nicotine concentratie in de lucht is een goede indicator van ETS blootstelling die binnen plaats heeft gevonden (Trinh Vu-Duc & Huynh, 1989).

	Afbraaksnelheid o.i.v. UV	Halfwaardetijd	Adsorptie en re-emissie	Adsorptie aan oppervlakten
Nicotine	+/-	1-3 uur (in lichaam) 1 dag (in gasfase)	+/-	+
3-EP	++	niet geanalyseerd	++	+/-

Tabel 2: Samenvatting van stofeigenschappen tabak specifieke markers voor omgevingsrook.

2.3 Bronnen van ETS

Zelfs als er niet gerookt wordt in een ruimte, dan kunnen er toch ETS indicatorstoffen waargenomen worden. De oorzaken hiervan zijn: lekrook die ontsnapt uit de rookruimte of vanaf het terras (zie 2.3.1) of 'third hand smoke' (zie 2.3.2). Het is momenteel nog niet mogelijk chemisch-analytisch onderscheid te maken tussen deze bronnen van ETS. Wanneer een norm opgesteld wordt voor chemisch-analytische bepaling van ETS, is het nodig hiermee rekening te houden bij het opstellen van een ondergrens.

2.3.1 *Rookruimte*

In rookvrije horeca is de voornaamste factor die de aanwezigheid van omgevingstabaksrook bepaald de aanwezigheid van een rookruimte. Vereist is dat er buiten een rookruimte op geen enkele wijze overlast wordt veroorzaakt. De rookruimte zelf moet afgesloten zijn, maar verder worden aan deze ruimte geen wettelijke eisen gesteld. In de praktijk zijn deuren meestal voorzien van

een dranger en wordt de lucht naar buiten afgevoerd, zodat deze niet circuleert in een centraal ventilatiesysteem.
Onderzoek uitgevoerd door het RIVM in samenwerking met TNO laat zien dat uit alle rookruimten omgevingstabaksrook ontsnapt naar rookvrije ruimten (Opperhuizen, 2010). Tijdens deze studie zijn metingen verricht aan ventilatie en luchtbehandeling, om inzicht te krijgen in de mate van verspreiding van omgevingstabaksrook vanuit de rookruimte naar de rookvrije ruimte. Ook werd de publieke bezetting bijgehouden en werd de intensiteit van het gebruik van de rookruimte geregistreerd. Uit dit onderzoek is geconcludeerd dat het aantal bezoekers dat per uur de rookruimte gebruikt het meest bepalend is voor de concentratie omgevingstabaksrook in de rookvrije ruimte van horecagelegenheden, gevolgd door het type deur en de mate van afzuiging in de rookruimte.

Het onderzoek heeft een aantal suggesties opgeleverd om het ontsnappen van rook uit rookruimten naar rookvrije ruimten te voorkomen. Zoals aangegeven zijn de voorgestelde maatregelen alleen zinvol als er scherpe eisen gesteld worden aan de rookruimte. Het is in principe mogelijk eisen op te stellen waaraan alternatieven voor rookruimten zouden moeten voldoen, maar dit betekent dat er prestatie indicatoren voor de beoogde luchtkwaliteit opgesteld moeten worden. Controle en inspectie van deze eisen zullen betekenen dat taken voor handhaving en toezicht meer expertise en capaciteit vergen. Om te bepalen of lucht efficiënt gezuiverd is van omgevingstabaksrook zijn bepalingen nodig van meerdere kenmerkende stoffen uit omgevingstabaksrook. De afwezigheid van nicotine en 3-EP in de lucht geeft een zeer goede indicatie van de efficiëntie van de luchtzuivering, maar om zeker te zijn dat luchtreining technieken niet alleen deze stoffen maar ook andere gezondheidschadelijke ETS stoffen uit de rook filteren strekt het tot de aanbeveling de afwezigheid van meerdere ETS componenten te controleren.

2.3.2 *Third-hand smoke*

De term third-hand smoke wordt gebruikt om resterende stoffen uit tabaksrook te beschrijven die op oppervlakten en in stof achterblijven na het roken van tabaksproducten. De resterende stoffen vormen lange termijn reservoirs en bronnen van tabaks rook contaminatie. De stoffen komen over een langere tijdsperiode vanuit de deeltjes fase in de gasfase of reageren met oxidanten of andere verbindingen in het milieu. Een recente publicatie laat zien dat ~60% van de polycyclische aromatische koolwaterstoffen, en ~70% van de nicotine en ~80% van de tabak-specifieke nitrosaminen uit omgevingstabaksrook absorberen aan oppervlakten en niet verwijderd worden onder normale ventilatie omstandigheden (Schick et al., 2013).
In kleden en textiel accumuleren meer contaminanten dan op harde oppervlakten (Burton, 2011). In de studie van Cieslak *et al* is de gevoeligheid van de vezels op de absorptie van twee omgevingstabaksrook (ETS) markers, nicotine en 3-ethenylpyridine (3-EP), onderzocht en veranderingen in de concentraties van deze stoffen in vezels onder blootstelling van licht bekeken. Nicotine puur of als één van de componenten van ETS werd geadsorbeerd door alle geteste vezels: katoen en polypropyleenvezels adsorbeerden meer dan de andere gebruikte vezels. 3-EP werd voornamelijk geadsorbeerd door synthetische vezels. De grootste gevoeligheid voor gelijktijdige absorptie van nicotine en 3-EP werd waargenomen voor polypropyleenvezels. De resultaten tonen aan dat nicotine adsorptie aan textiel een betere marker voor ‘third hand smoke’ is dan 3-EP (Cieślak, 2013) (tabel 2).

Onderzoek toont ook aan dat geadsorbeerde nicotine aanwezig op omringende materialen, zoals muren en tapijten, na verloop van tijd opnieuw kan worden geresorbeerd in de omgeving (Trinh Vu-Duc & Huynh, 1989). Volgens Piadea *et al.* kan over een paar uur tot 1 mg nicotine worden geadsorbeerd en opnieuw geresorbeerd van een 1 m^2 katoenen doek (Piadea et al., 1999). Experimenten laten ook desorptie van nicotine uit omringende materialen zien (Van Loy et al., 2001). Na verdamping van nicotine in een 20 m^3 milieu testkamer met vloerbedekking (gemeten nicotine concentratie in de lucht van 4,4 g/m^3), werd de kamer drie dagen lang doorgelucht met schone lucht. Na het weer sluiten van de kamer, steeg de nicotine concentratie langzaam terug naar 1 g/m^3. Dit demonstreert het effect van het opnieuw loslaten van nicotine door omringende oppervlakken.
Een andere studie laat data zien die suggereert dat onder normale omgevingsomstandigheden nicotine die aan oppervlakten geadsorbeerd is een reactie aan kan gaan om het long carcinogeen NNK te vormen (Schick et al., 2013). Blootstelling aan PAK's en tabak-specifieke nitrosaminen, door adsorptie door de huid en het inademen van de besmette stof dragen bij aan de gezondheid schadelijke effecten van tabaksrook.

Dit laat zien dat de aanwezigheid van gasfase indicatorstoffen als nicotine en 3-EP door oppervlakte interacties en adsorptie in 2-5 keer lagere niveaus aantoonbaar zijn in de omgevingslucht in vergelijking met studies uitgevoerd in een lege ruimte. Verder dient rekening gehouden te worden met het feit dat hierdoor nicotine waarden gemeten in laboratoriumsituaties af kunnen wijken van die onder veldomstandigheden (tabel 2).

2.3.3 *E-sigaretten damp*

De laatste jaren zijn elektronische producten (E-sigaret) gebaseerd op het principe van verdamping in plaats van verbranding sterk in opkomst (Palazzolo, 2013). E-sigaretten bevatten geen tabak maar een vloeistof en vallen daardoor niet onder de tabakswet en zijn dan ook toegestaan in de horeca. Toch kan de roker bij roken van een E-sigaret blootgesteld worden aan een nicotine concentratie die net zo hoog is als in gewone sigaretten. Wanneer een e-sigaret gebruiker een trekje neemt dan wordt de nicotine oplossing verwarmd en de damp wordt in de longen opgenomen. Hoewel er geen damp wordt gegenereerd tussen de inhalaties door, wordt een deel van de damp uitgeademd door e-sigaret gebruikers. Daardoor worden bij het roken van e-sigaretten ook niet-rokers onvrijwillig bloot gesteld aan nicotine maar niet aan giftige tabak-specifieke verbranding producten (Burstyn, 2014). Veel studies wijzen wel op vervuilingen in de damp (Schober et al., 2013). Recent onderzoek toont aan dat nicotine niveaus van omgevingsrook afkomstig van verschillende merken e-sigaretten rond de 0,8 - 6,2 ug/m^3 liggen (Czogala et al., 2013). Sigaretten-rook resulteert in nicotine niveaus die tien keer hoger zijn (figuur 19). Meer onderzoek is nodig om de samenstelling van de damp te onderzoeken en de gezondheidsgevolgen van omgevingsblootstelling aan e-sigaretten damp te evalueren.

3 Chemisch-analytisch meten van ETS

Een detectiemethode voor chemische componenten bestaat uit twee gedeelten de bemonstering en de analyze. Tijdens beide processes zijn vele variable componenten te optimaliseren. In dit hoofdstuk worden eerst bestaande ETS detectiemethoden besproken. Vervolgens worden experimenten besproken die we uitgevoerd hebben om de toepassing van geavanceerde meetapparatuur voor ETS detectie te testen.

3.1 Bestaande detectiemethoden ETS

Bemonstering van ETS indicator stoffen uit de omgevingslucht kan zowel op een actieve als passieve manier plaats vinden. Bij actief bemonsteren wordt met behulp van een vacuumpomp omgevingslucht aangezogen door een buisje met adsorptiemateriaal. Op deze manier worden actief componenten uit de omgevingslucht bemonsterd op een adsorbens. Bij passief bemonsteren worden componenten uit de omgevingslucht onder invloed van de aanwezige luchtstroom bemonsterd op een absorbens.

Een onderzoek in de literatuur laat zien dat slechts een beperkt aantal bemonsteringstechnieken getest zijn voor ETS metingen. Actieve bemonsteringsmethoden blijven beperkt tot de vacuumpomp die in een gering aantal studies gebruikt wordt, maar over het algemeen wordt passief bemonsterd. Vaak worden passieve persoonsdosismeters gebruikt om in veldstudies de blootstelling van de persoon die ze draagt te meten. Op deze manier kan ETS bemonsterd worden en het gemiddelde ETS blootstelling niveau van horeca medewerkers gemeten worden op een niet invasieve manier. Om de blootstelling van medewerkers aan ETS te bepalen worden ook wel 'invasieve' methoden toegepast zoals het meten van cotinine concentraties in urine of speeksel.

Passieve bemonstering heeft als voordeel dat het een goed beeld geeft van gemiddelde nicotine concentraties in de lucht over een wat langere periode. Het nadeel is dat de bemonsteringssnelheid lager ligt en er dus langer bemonsterd moet worden om specifieke stoffen te detecteren.
Passieve bemonstering vindt onder andere plaats met behulp van geactiveerde koolstof, natrium-bisulfaat, poreuze polymeren of ionenwisselaars (tabel 3). De bemonsteringsnelheid van deze manieren van passief bemonsteren liggen rond de 10-25 ml/min. De zogenaamde MoNIC badge en een sensor die real-time nicotine kan meten, behoren tot de meest recent ontwikkelde bemonsteringtechnieken om blootstelling aan ETS te meten.

De MoNIC (Monitor of NICotine) passieve bemonsteringsbadges zijn glasvezelfilters geïmpregneerd met natrium bisulfaat geplaatst in een plastic houder. Wanneer lucht door het poreuse membraan gaat wordt nicotine vanuit de lucht geadsorbeerd in de filter (Khanh Huynh, Moix, & Dubuis, 2008). Recent is voor het eerst een sensor ontwikkeld die wel in real-time nicotine concentraties kan meten. Deze sensor bestaat uit geleidende polymeerfilms. In de sensor is een polyaniline polymeer gecoat op een chroom en nikkel electrode rooster, waardoor een geleidende laag wordt gevormd. Het polymeer wordt vervolgens geprotoneerd waarna het een interactie aan kan gaan met nicotine (een base). De weerstand ten gevolge van deze interactie kan gemeten worden over de sensor (Liu, Antwi-Boampong, BelBruno, Crane, & Tanski, 2013). Het

systeem wordt nog verder ontwikkeld voor toepassing in veldsituaties en heeft als nadeel dat vrij snel verzadiging optreedt, waardoor na herhaalde blootstelling eerst frisse lucht over de sensor geleid moet worden voordat deze weer gebruikt kan worden.

Publicatie	Bemonsteringsmethode	Bemonsteringssnelheid	Bemonsteringtijd
Vainiotalo, 2001 (Vainiotalo et al., 2001)	Geactiveerde koolstof (3M)	25,7 ml/min	24-48h
(Kuusimaki, Peltonen, & Vainiotalo, 2007)	Geactiveerde koolstof (3M)	23,1 ml/min	8h
(Black D, 2007)	Geactiveerde koolstof (3M)		8h
(Hyvarinen, Rothberg, Kahkonen, Mielo, & Reijula, 2000)	2.6-difenyleenoxide polymer (Tenax TA 35/60)		4h
(Hammond & Leaderer, 1987)	Natrium-bisulfaat	25 ml/min	5h
(Rajkumar, Huynh, Bauer, Hoffmann, & Roosli, 2013)	Natrium-bisulfaat (MoNIC)	10 ml/min.	24h
(Jenkins et al., 2001)	polystyreen-divinylbenzeen (XAD-4)		8h

Tabel 3: veldstudies waar concentraties nicotine en 3-EP in ETS passief bemonsterd zijn doormiddel van draagbare badges

3.2 Experimentele opzet voor het ontwikkelen van detectiemethoden voor ETS indicatorstoffen

3.2.1 *Keuze van technieken*

De milieuongevallendienst van het RIVM is verantwoordelijk voor het meten van gevaarlijke stoffen in lucht, bodem en water. Hiervoor wordt geavanceerde meetapparatuur gebruikt, waarmee ter plekke metingen kunnen worden gedaan. We hebben in samenwerking met de milieuongevallendienst een verscheidenheid aan meetapparatuur gebruikt voor binnenluchtmetingen om de concentratie van de ETS indicator stoffen nicotine en 3-EP te detecteren.
Gekozen is voor een brede opzet waarbij meerdere kleine draagbare apparaten getest zijn die zowel geschikt zijn voor persoonsdosis- als omgevingsmetingen (tabel 3). Verschillende passieve bemonsteringsapparaten zijn getest op hun mogelijkheid om nicotine en 3-EP in de binnenlucht te op te vangen: de Radiello met en zonder membraan, de SPME-pen, de E-Nose en de 3M-badge (figuur 1, tabel 4). Voor actieve bemonstering is gebruik gemaakt van een kleine handzame pomp in combinatie met een buisje gevuld met adsorbens (thermische desorptie buisje).
Ter controle is in deze ETS bemonsteringsstudie een eerder door het RIVM gebruikte actieve bemonstering met een zware vacuümpomp meegenomen (Opperhuizen, 2010). De experimenten die we uitgevoerd hebben met de verschillende technieken en de resultaten van deze metingen worden beschreven in paragraaf 3.3 tot en met 3.7. Het tijdschema waarin de experimenten zijn uitgevoerd, wordt in detail weergegeven in paragraaf 7.2.

Figuur 1 Onderzochte detectietechnieken voor ETS bemonstering: 1) Radiello en Radiello diffusiehouders, 2) 3M-badge, 3) SPME pen, 4) E-nose, 5) Canister, 6) TDT + handpomp, 7) GC liner + grote pomp

Meetsysteem	Read-out	Bemonstering methode	Prijs	Adsorbens / sensor	Bemonstering snelheid
Radiello	GC	passief	~ 35€ p./stk.	Koolstof beperkt stofspecifiek	~70 ml/min.
3M badge	GC	passief	~ 120€ p./stk.	Koolstof of zeer beperkt stofspecifiek	~30 ml/min.
SPME pen	GC	passief	~ 350€ (re-usable 50-100x)	Koolstof of stofspecifiek	~1-30 ul/min.
E-nose	elektronisch	passief	~ 1500-7000€ p./stk.	Geleidende (polymeer) sensoren	~200 ml/min.
Canister	GC	passief	~ 400€ p./stk.	n.v.t.	~1-400 ml/min.
Thermo desorptie buisjes (TDT) + handpomp	GC	actief	~ 100€ (re-usable 15x) + ~400 € p./stk.	Koolstof of stofspecifiek	~5-10 L/min.
GC-liner + grote pomp	GC	Actief	~ 300€ p./stk.	Koolstof of stofspecifiek	~35 L/min.

Tabel 4 Eigenschappen van de geteste technieken voor omgevingsrook detectie (ETS)

3.2.2 *Proefopstelling voor bemonstering*

Voor de experimenten die gedaan zijn om methoden te ontwikkelen waarmee omgevingstabaksrook gedetecteerd kan worden is gebruik gemaakt van een geschikte ruimte op het terrein van het RIVM (G20). In de ruimte bevond zich uitsluitend een tafel met daarop de meetapparatuur (Figuur 2). De commercieel verkrijgbare sigaretten zijn aangestoken op ongeveer een meter afstand van de tafel op een laag kistje. Vervolgens lag de sigaret te smeulen en genereerde daardoor zijstroomrook totdat ze uit zichzelf doofde.
Het volume van de ruimte was ongeveer 40m^3, vergelijkbaar met dat van een gemiddelde kantoorruimte. De ruimte beschikt over een mechanisch ventilatiesysteem dat aan en uitgeschakeld kan worden. Tijdens de

experimenten is de ventilatie uitgezet en de deur van de ruimte dicht gehouden. Er is een ventilator geplaatst voor het mengen van de lucht in de ruimte. Met een combinatie meter is de binnenlucht kwaliteit gemeten. De condities waren constant tijdens de experimenten met een temperatuur van 19ºC, een luchtvochtigheid van 40% en een koolstofdioxide concentratie van 900 ppm.

Figuur 2 Meetopstelling. Op de foto genomen in de meetruimte zijn de diverse gebruikte technieken te zien.

3.2.3 *Chemische analyse ETS indicatorstoffen*

De bemonstering van nicotine en 3-EP is niet stof specifiek. Door de diverse filters of adsorbens materialen worden vele verschillende vluchtige organische stoffen bemonsterd. Na de bemonstering vindt desorptie van het adsorptiemateriaal plaats tijdens de opwerkingsprocedure door een chemische behandeling of door verhitting direct op de gaschromatograaf (GC). Verhitting direct op de GC met behulp van een thermische desorptie eenheid biedt voordelen aangezien geen monster verlies optreedt door opwerkingsprocedures.

Het te analyseren mengsel wordt door verhitting in een gasmengsel omgezet waarna het op een kolom gescheiden wordt (volgens het principe dat gelijkaardige componenten elkaar aantrekken). Door deze scheiding zullen de verschillende componenten van het te analyseren mengsel één voor één van de kolom komen waarna het massaspectrum (MS) van elke component afzonderlijk bepaald kan worden. Dit massaspectrum maakt het mogelijk de componenten te identificeren. Analyse van de data kan plaats vinden op kwalitatieve maar ook op een kwantitatieve manier. Voor kwantitatieve analyse waarbij de concentratie bepaald wordt met behulp van een ijklijn is het noodzakelijk een interne of externe standaard mee te nemen in de analyse. Als externe standaard voor het berekenen van de gehalten nicotine en 3-EP worden gezuiverd nicotine en 4-EP gebruikt. 4-EP wordt gebruikt omdat het veel stabieler is en dezelfde retentietijd en detector respons heeft als 3-EP.

Tijdens het ontwikkelen van de methode wordt bepaald welke omstandigheden het meest geschikt zijn voor een bepaalde analyse. Omstandigheden die gevarieerd kunnen worden om een gewenste analyse te krijgen zijn de temperatuur of temperatuur programma’s van de invoer, detector, kolom. Daarnaast kan het type draaggas en stroomsnelheden van dit gas van belang

zijn. Een andere variabele is de kolom. Hierbij kan het type stationaire, diameter, lengte, type inlaatconnector gevarieerd worden. Ook de injectie techniek kan geoptimaliseerd worden afhankelijk van het monster type en volume. Afhankelijk van de detector(en) die op de GC geïnstalleerd is, kunnen een aantal condities gevarieerd worden.

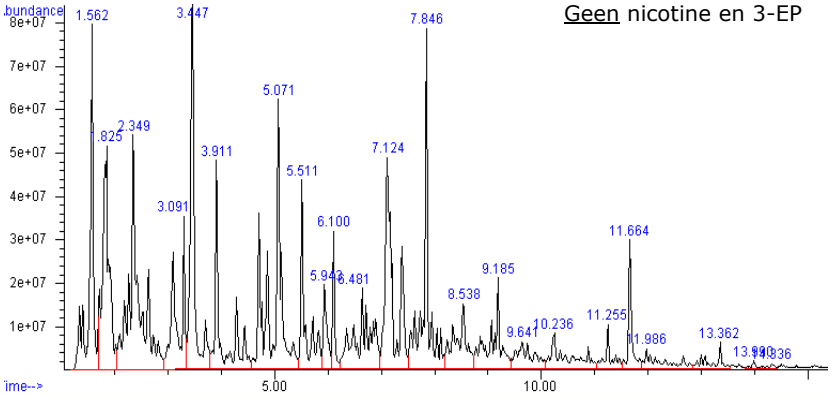
De analyse methoden zoals we die in dit project hebben opgezet worden in detail beschreven in paragraaf 7.3.

3.3 3M badge en Radiello

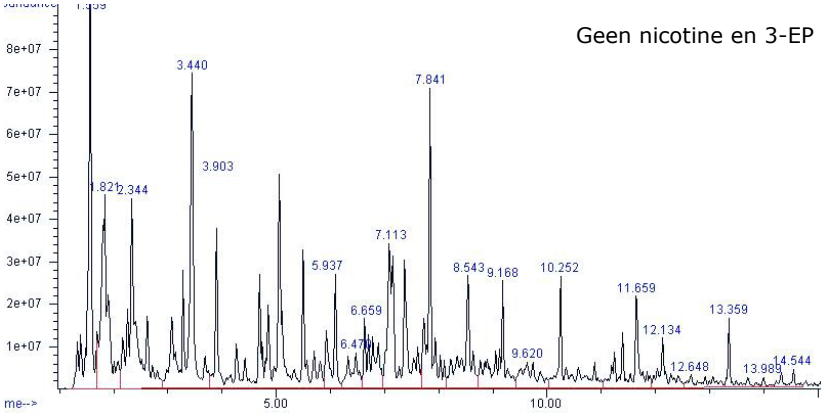
Door passieve bemonstering met behulp van het Radiello systeem (Sigma-Aldrich) kan een hoge bemonsteringssnelheid en -capaciteit bereikt worden, omdat dit systeem in tegenstelling tot de 3M en andere badges een radiaal symmetrisch design heeft. Door deze symetrie kunnen gassen rondom de gehele cartridge geadsorbeerd worden wat resulteerd in een betere opname snelheid. De 3M badge heeft een axiaal design wat bemonstering aan slechts één zijde mogelijk maakt. Zowel voor de Radiello als voor de 3M badge zijn een aantal verschillende patronen (cartridges) met adsorptiematerialen beschikbaar afhankelijk van welke verschillende klasse van stoffen je wilt bemonsteren. Voor beiden is gekozen voor actieve koolstof als adsorbens. Actieve koolstof is een speciaal behandelde koolstof die door adsorptie de eigenschap heeft veel vluchtige organische verbindingen aan zich te binden.
Tijdens het bemonsteren kunnen de cartridges in een polyethyleen diffusie houder geplaatst worden (figuur 1). De diffusiehouders kunnen eenvoudig aan de driehoekige Radiello steunplaat bevestigd worden. Er zijn ook een aantal verschillende typen diffusie houders, die verschillen in hun toepassingsgebied met betrekking tot bemonsteringssnelheid.
Het grootste voordeel van de Radiello is de lage prijs, maar een nadeel is de lage bemonsteringssnelheid. Afhankelijk van de aanwezige luchtstroom in de ruimte, moet er enkele uren tot dagen bemonsterd worden (tabel 3).

3.3.1 *Resultaten 3M badge en Radiello met en zonder diffusie houder*

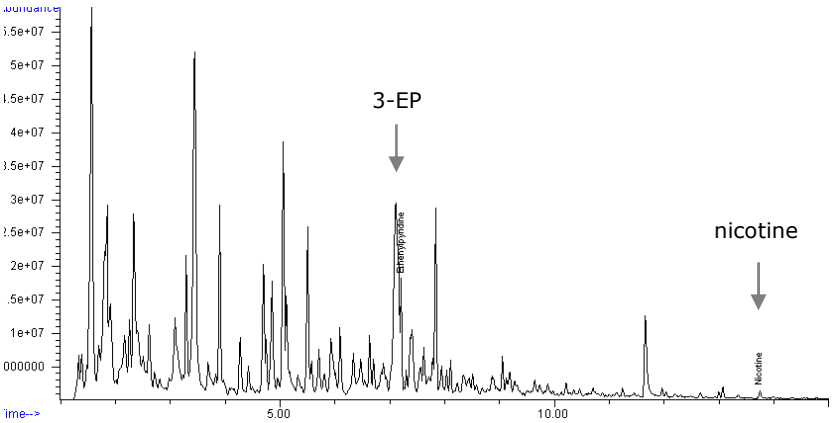
Met de Radiello inclusief de adsorptie cartridge en diffusiehouder is gedurende 3 dagen gemeten (figuur 1). Daarbij is gebruik gemaakt van een diffusiehouder met poriegrootte 10 um. Na drie dagen is deze diffusiehouder vervangen voor een witte diffusiehouder met een porie grootte van 25 um. Vervolgens zijn tussentijds nog een aantal sigaretten aangestoken en is na 8 dagen het monster geanalyseerd. Het chromatogram van de GC-MS laat geen signaal van nicotine en 3-EP zien (Figuur 3). Op de X-as staat de retentietijd aangegeven in minuten en op de Y-as het detectorsignaal.
Een andere Radiello en de 3M badge zijn gedurende acht dagen blootgesteld aan ETS. De Radiello adsorptie cartridge bevond zich in een diffusiehouder met een porositeit van 10 um. Ook hier werd geen nicotine en 3-EP gemeten (Figuur 4). Ook de 3M badge was niet in staat nicotine of 3-EP in ETS te detecteren.
Vervolgens is een meting uitgevoerd waarbij de Radiello adsorptie cartridge niet in een diffusiehouder is geplaatst. Het chromatogram laat zien dat zowel nicotine als 3-EP gedetecteerd worden door de GC-MS waarbij het signaal van 3-EP sterker is dan van nicotine (Figuur 5).



Figuur 3 Chromatogram van TD-GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. Radiello met carbograph 4 cartridge en eerst 10 um en daarna 25 um diffusiehouder



Figuur 4 Chromatogram van TD-GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. Radiello met carbograph 4 cartridge en 10 um diffusiehouder



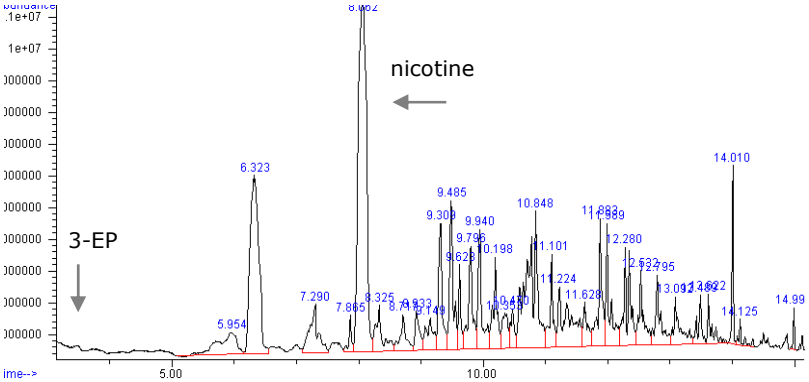
Figuur 5 Chromatogram van TD-GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. Radiello zonder diffusiehouder

3.4 SPME

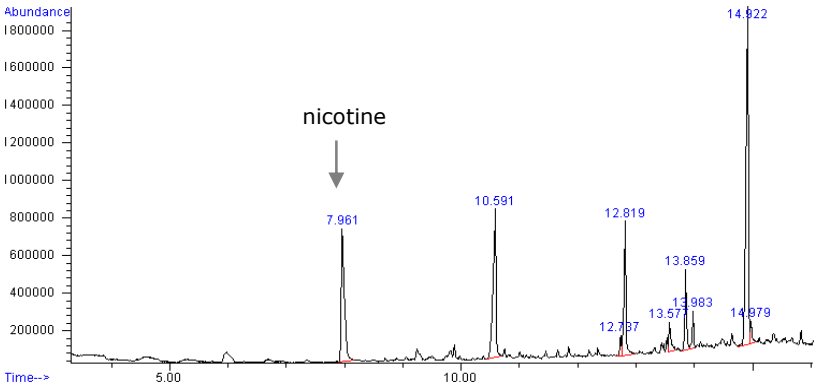
De SPME (Solid Phase Micro Extraction) is een dunne vezel (fiber) met een coating waarop vluchtige organische stoffen (VOC) geabsorbeerd worden. Er bestaan diverse typen vezels. Voor monstername wordt een fiber enkele uren tot dagen in een ruimte geplaatst. De componenten worden geconcentreerd op de vezel en kunnen vervolgens snel afgeleverd worden aan de kolom, waardoor detectiegrenzen geminimaliseerd worden.

3.4.1 *Resultaten SPME*

Voor de SPME pen hebben we twee typen vezels gebruikt welke 8 dagen bloot gesteld zijn aan tabaksrook. 1) Een niet-polaire polydimethylsiloxaan (PDMS) vezel, die wordt aangeraden bij bemonstering van vluchtige componenten met een laag-moleculair gewicht (figuur 6 en 1) en 2) een combinatie vezel van Divinylbenzeen, Carboxen en Polydimethylsiloxaan (DVB/CAR/PDMS) om een uitgebreidere reeks aan componenten op te vangen. De gasfase componenten die opgevangen zijn op de SPME vezel zijn direct in de injectiepoort van de GC geïnjecteerd en geanalyseerd. De resultaten met de twee verschillende vezels laten zien dat nicotine met de gecombineerde (DVB/CAR/PDMS) vezel het meest efficiënt te bemonsteren is (figuur 7). De detectie van 3-EP is met deze vezel ook mogelijk, maar dient geoptimaliseerd te worden om een duidelijker signaal te krijgen dat ook gekwantificeerd kan worden.



Figuur 6 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. SPME met DVB/CAR/PDMS vezel



Figuur 7 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. SPME met PDMS vezel

3.5 Elektronische detectiemethoden

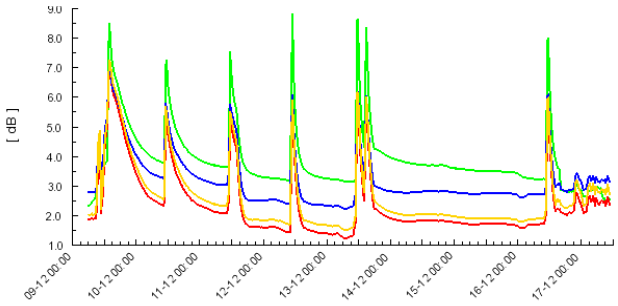
De elektronische neus (E-nose) is een nieuwe technologie voor geurevaluatie en het nabootsen van het menselijke reukvermogen. E-noses werden aanvankelijk gebruikt in de wereld van de beveiliging, bijvoorbeeld om explosieven, drugs of chemische wapens op te sporen. Later werden ze ook toegepast in de voedselindustrie, om na te gaan of voeding bedorven of vervuild is. Recent is het apparaat ook in de medische wereld toegepast onder andere om te detecteren of iemand een longziekte heeft (Fens et al., 2011) of om darmkanker en voorstadia daarvan op te sporen in de menselijke ontlasting (de Meij et al., 2014).

De elektronische neus analyseert gas monsters door ze over een reeks van sensoren of elektrodes te leiden. Elke elektrode reageert op bepaalde stoffen

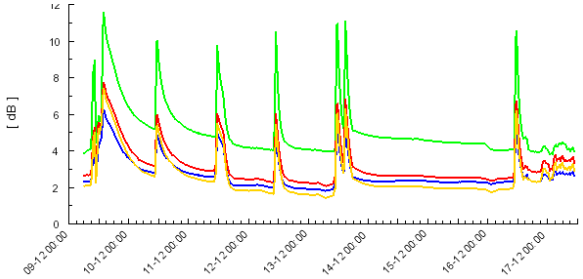
door de elektrische weerstand op een karakteristieke manier te veranderen. Het combineren van de signalen van de elektroden geeft een "geur-print" van de chemische stoffen in het mengsel die in de software wordt opgeslagen en die de e-neus kan leren herkennen en vergelijken met zijn opgeslagen gegevens. Sommige sensoren overlappen net als de receptoren in de menselijke neus. De E-nose kan sneller dan het menselijke geurvermogen verbindingen en complexe mengsels detecteren, zelfs in aanwezigheid van achtergrondinterferentie. De elektronische neus kan ook geurloze chemicaliën detecteren.
E-noses zijn er in vele verschillende modellen en maken gebruik van verschillende technologieën. Zo zijn er diverse typen sensoren zoals metaaloxide- (MOX), geleidende polymeer- (CP) en elektrochemische- (EC) sensoren. Elk van deze sensoren heeft andere eigenschappen en zowel voor- als nadelen. Bij de meeste E-noses wordt een enkele technologie of type sensor gebruikt, bij sommige worden meerdere technologieën gecombineerd (Chiu & Tang, 2013; Wilson & Baietto, 2009).
Aangetoond is dat een E-nose in staat is geurveranderingen tijdens het droog proces van tabaksbladeren te detecteren (Ding et al., 2013). De E-nose kan ook diverse tabakssoorten onderscheiden, maar wordt nog niet gebruikt om de intensiteit van schadelijke stoffen in tabaksrook te detecteren (Brudzewski, Osowski, & Golembiecka, 2012). De detectielimiet van de E-nose ten opzichte van die van de mens ten aanzien van tabakslucht is niet bekend. Voordelen van deze methode zijn de korte bemonsteringstijd en de directe elektronische beschikbaarheid van de gegevens. De keerzijde is dat de kosten van deze methode wat hoger liggen.

3.5.1 *Resultaten elektronische detectiemethoden*

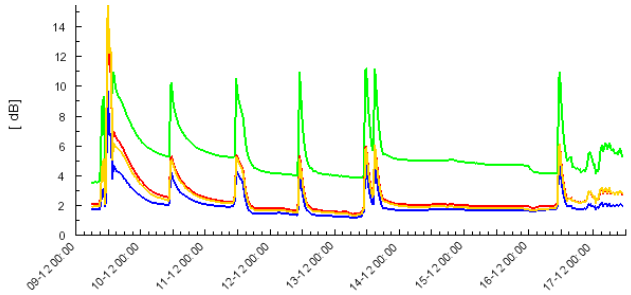
De E-nose verzamelde gedurende een periode van acht dagen continu gegevens met behulp van vier ingebouwde halfgeleider gas sensoren. De sensoren van de E-nose communiceren draadloos met een centraal database management systeem waardoor de gegevens direct online beschikbaar zijn (bijv. met een smartphone op te vragen).
Voor deze experimenten zijn drie E-noses gebruikt met elk vier verschillende sensoren (lijnen in de grafiek). De E-noses stonden gedurende 8 dagen op diverse locaties in de ruimte.
Op de X-as staat de meettijd aangegeven in dagen (9 dec. t/m 17 dec.). Op de Y-as staat de intensiteit of het vermogen van het signaal weergegeven in decibel. Zoals te zien is in de grafieken geeft de E-nose precies aan wanneer er gerookt wordt (Figuur 8-10). Op dag 5 toen twee keer per dag een rooksessie plaats heeft gevonden zijn duidelijk twee pieken in het patroon te zien. Ook wanneer gedurende twee dagen (in het weekend, dag 6 en 7) geen sigaretten afgerookt zijn is dit af te lezen aan het patroon van de E-nose. Uit de data kan tevens afgelezen worden dat gedurende deze periode nog wel tabaksrook te detecteren is in de ruimte. De vier sensoren laten dezelfde signaalintensiteit zien over de tijd.



Figuur 8 Data verkregen van E-Nose 2



Figuur 9 Data verkregen van E-Nose 4



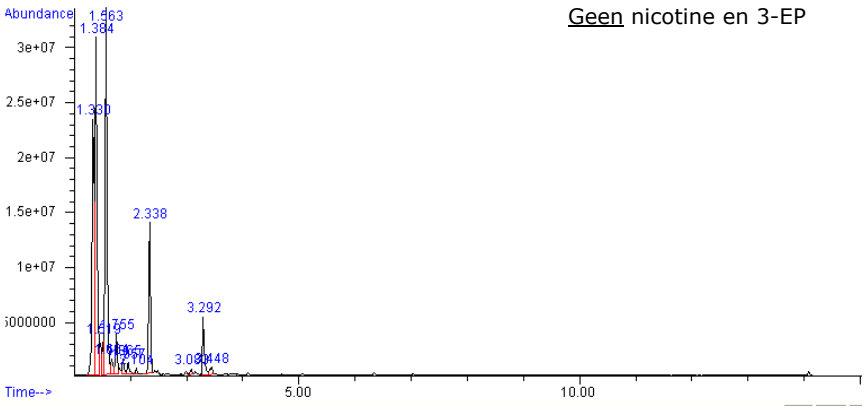
Figuur 10 Data verkregen van E-Nose 6

3.6 Canister

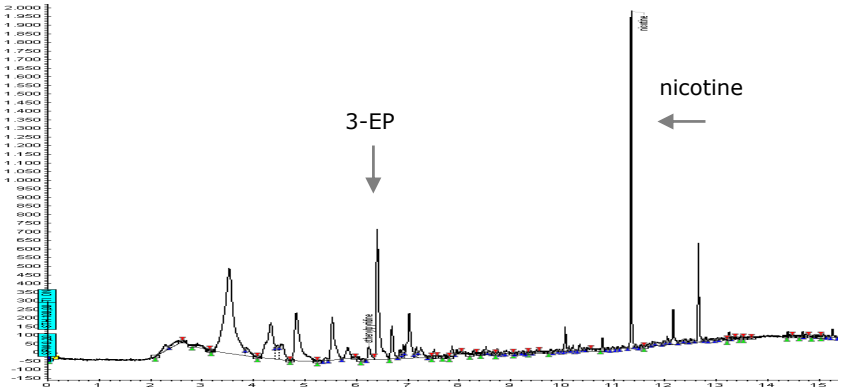
Canisters zijn metalen, gevacumeerde, bollen. Door de kraan open te draaien, kan deze zich vullen met lucht tot atmosferische druk. Ze kenmerken zich door een grote capaciteit waardoor vluchtige stoffen zeer gevoelig te detecteren zijn en wat langer op zijn te slaan. Een deel van de bemonsterde lucht wordt in een thermodesorptie unit geconcentreerd en geanalyseerd met GC-MS.

3.6.1 *Resultaten Canister*

De canister is na het aansteken van zes sigaretten opengedraaid zodat 6 liter omgevingslucht bemonsterd kon worden tijdens het opbranden van de sigaretten. Slecht een zeer klein gedeelte van deze lucht kon op de GC-MS gebracht worden voor analyse, omdat in deze kleine hoeveelheid lucht was het niet mogelijk nicotine en 3-EP te detecteren met de GC-MS (figuur 11). In een tweede experiment is de lucht uit canister over een GC liner gebracht met behulp van een pomp, zodat de lucht meer geconcentreerd aangeleverd wordt voor analyse op de GC-MS. Op die manier zijn nicotine en 3-EP wel te detecteren (figuur 12).



Figuur 11 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. canister



Figuur 12 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. canister en grote pomp + liner

3.7 Adsorptie buisje gekoppeld aan een vacuümpomp

De bemonstering met behulp van kleine buisjes gevuld met adsorptiemateriaal (thermo desorptie buisjes (TDT) of GC-liners) vindt plaats door lucht aan te zuigen door deze buisjes met behulp van een vacuümpomp. De voordelen van deze actieve manier van bemonsteren is dat snel een monster verkregen kan worden.

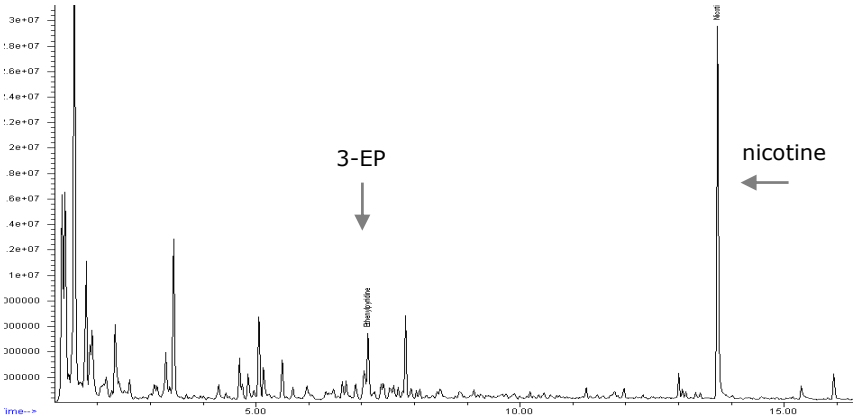
Omdat een enkel adsorbens niet in staat is alle componenten efficiënt te bemonsteren en af te geven bevatten veel desorptie buizen meer dan één adsorbens. Meerdere adsorbens typen in een buisje stellen de gebruiker in staat een breder bereik van componenten te analyseren binnen een bemonstering. Een ideale adsorptiebuis vangt niet alleen componenten op maar houdt ze ook vast voor de gehele bemonsteringsperiode, de component kan in zijn geheel geresorbeerd worden zonder thermische decompositie. De snelheid van vrijgeven van de component dient zo snel mogelijk te zijn om de analyse-tijd te verkorten en om een efficiënte scheiding te krijgen. Stabiele adsorbentia zorgen dan ook voor de beste detectielimieten door het minimaliseren van afbraakproducten die storen met de kwantificatie.
Na bemonstering kan de GC-liner direct gekoppeld worden aan de injector van de GC waarna door verhitting het monster vrijkomt voor scheiding op de machine. Voor de thermo desorptie buisjes is het nodig een extra eenheid te bevestigen aan de GC zodat het monster efficiënt overgebracht kan worden op de kolom.
De GC-liners zijn meer geschikt voor gebruik met de grote vacuümpomp, bij gebruikt met de kleinere handpomp slaat de pomp snel af doordat de weerstand

over het buisje te groot is voor de capaciteit van de pomp. De thermodesorptiebuisjes daarin tegen hebben een grotere diameter en zijn langer dan liners, waardoor de weerstand minder hoog is en ze dus beter geschikt zijn in combinatie met de kleinere handpomp. De handpomp maakt een zacht geluid van rond de 55 Decibel, wat vergelijkbaar is met het geluid dat een elektrische tandenborstel maakt. De grote vacuümpomp maakt meer geluid.

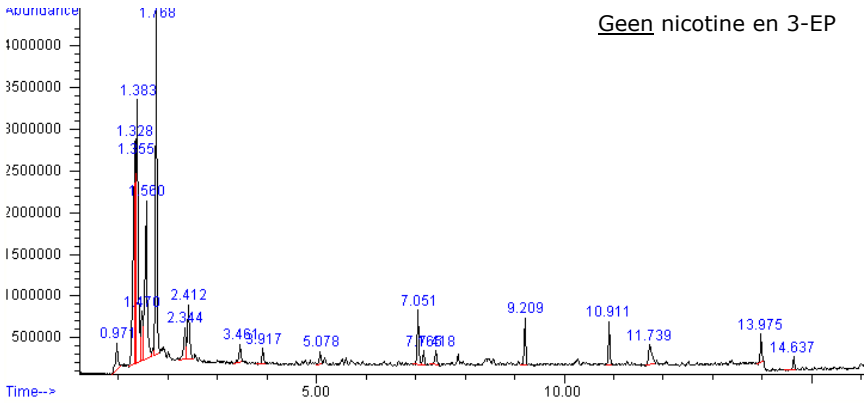
3.7.1 *Resultaten adsorptie buisje gekoppeld aan een vacuümpomp*

Met de GC-liners en thermo desorptie buisjes is gedurende een periode van 5-30 minuten bemonsterd op verschillende tijdspunten. Alle metingen van de actieve bemonstering technieken (TDT + handpomp en GC-liners + grote pomp) zijn direct geanalyseerd.

Stoffen uit de omgevingslucht zijn op een thermodesorptiebuis gedurende 10 minuten bemonsterd met een kleine handpomp, die een bemonsteringsnelheid heeft van ongeveer 200 ml/min. Voordat sigaretten aan werden gestoken is een blanco meting verricht. Nadat drie sigaretten aan zijn gestoken in de ruimte is gedurende 30 minuten een luchtmonster genomen op een thermodesorptie buisje. Na GC-MS analyse is op het verkregen chromatogram een duidelijk signaal van zowel nicotine als 3-EP waar te nemen (Figuur 13). 24 uur na het aansteken en afbranden van de sigaretten is opnieuw bemonsterd en was geen nicotine en 3-EP meer te detecteren (Figuur 14).

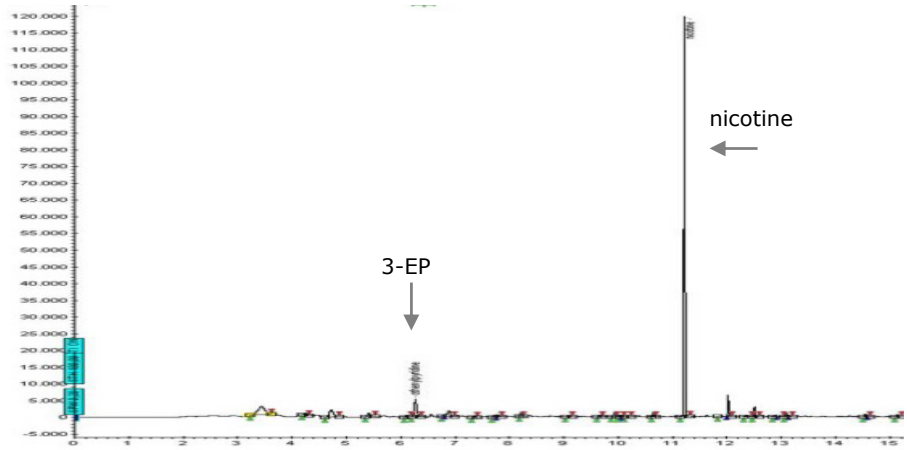


Figuur 13 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. TDT + handpomp



Figuur 14 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. TDT + handpomp

De grotere vacuümpomp met GC-liners, die als positieve controle mee is genomen geeft bij alle meetpunten een chromatogram waarop zowel pieken van nicotine als 3-EP te detecteren zijn. Onderstaand chromatogram geeft een analyse resultaat weer na het aansteken en opbranden van zes sigaretten. Nicotine en 3-EP kunnen na 5 minuten bemonsteren duidelijk gedetecteerd worden (figuur 15).
De theoretische bemonsteringsnelheid van de grotere vacuümpomp (5-10 L/min) wordt meestal niet gehaald indien een adsorptie buisje (GC-liner) aan de pomp gekoppeld is. De lucht die aangezogen wordt door de GC-liner ondervindt een bepaalde weerstand door het absorptiemateriaal wat erin zit waardoor de bemonsteringsnelheid rond de 1-1,5 L/min. ligt.



Figuur 15 Chromatogram van GC-MS analyse op monster verkregen m.b.v. GC-liner + grote vacuümpomp

4 Discussie

4.1 Passieve en actieve bemonstering

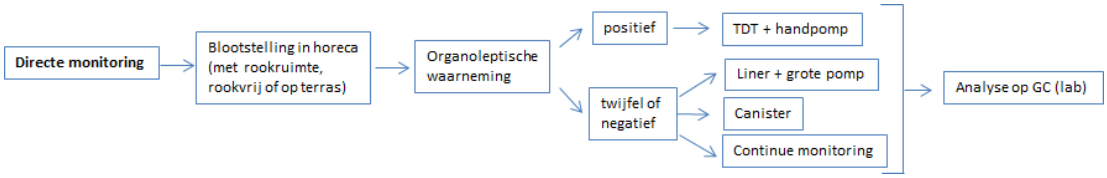
De detectiemethoden die binnen dit project ontwikkeld zijn, hebben de potentie om voor veldwerk ingezet te worden. Afhankelijk van het doeleinde, directe- of continue monitoring van omgevingstabaksrook, kunnen diverse chemisch analytische detectiemethoden ingezet worden als kwantitatief hulpmiddel bij een inspectie.
Bemonsteringsnelheid en totale duur van de bemonstering en daarmee de uiteindelijke opgevangen concentratie van de stof uit de lucht zijn verschillend bij actieve en bij passieve bemonstering. De stofspecifieke eigenschappen, zoals lading en hydrofobiciteit, en het type adsorbens bepalen de efficiëntie van de bemonstering. Door een te korte bemonstering kan de concentratie van de aanwezige stof in de lucht te laag geschat worden. Bij een te lange bemonstering kan verzadiging van het materiaal en terug diffusie optreden en kan de filter verzadigd raken. De bemonsterde stof dient chemisch stabiel te blijven op het adsorptiemateriaal voordat de analyse in het laboratorium plaats kan vinden. De bemonsteringstijd en de tijd waarover de stof stabiel blijft op het adsorbens dienen experimenteel bepaald te worden.
Voor directe monitoring door de inspecteurs bij handhaving van blootstelling niveaus aan ETS in horeca met rookruimten, rookvrij of op het terras zijn over het algemeen actieve bemonstering technieken meer geschikt. Voor continue monitoring ter zelfregulering van blootstellingsniveaus van medewerkers of op diverse locaties binnen een horeca gelegenheid zijn over het algemeen passieve bemonstering technieken meer aan te bevelen. In de volgende paragrafen worden beide manieren van monitoring besproken.

4.2 Directe monitoring

Directe monitoring over een korte tijdsperiode heeft als voordeel dat tijdens een inspectie de informatie verkregen met organoleptische waarneming gecombineerd kan worden met een bemonstering en latere analyse naar de aanwezigheid en concentratie van ETS componenten in de lucht.
Afhankelijk van de organoleptische waarneming van de inspecteur kan globaal in geschat worden of er wel of niet tabaksrook aanwezig is in de geïnspecteerde ruimte. Aan de hand daarvan wordt een verdere keuze gemaakt voor de techniek waarmee de rook bemonsterd wordt. Indien een tabaksgeur gedetecteerd wordt, kan gedurende een korte periode bemonsterd worden met de handpomp. De exacte duur van bemonsteren waarbij met deze techniek nicotine gedetecteerd kan worden, hangt onder andere samen met de grootte van de gelegenheid en moet nog experimenteel vastgesteld worden. De bemonsteringstijd hangt af van de bemonsteringsnelheid van de pomp gecombineerd met de weerstand die verkregen wordt door het aanzuigen van de lucht over het adsorptiemateriaal in de thermodesorptie buis.

In het geval van een lage tabaksrook concentratie die nauwelijks waar te nemen is is een andere meettechniek vereist. Een keuze kan gemaakt worden tussen de grotere vacuümpomp met GC-liner, de canister of continue monitoring (figuur 16).
De grotere pomp is eerder door het RIVM gebruikt bij het bemonsteren van omgevingstabaksrook tijdens veldstudies (Opperhuizen, 2010). Het huidige model is kleiner en draagbaarder (figuur 1). De resultaten bevestigen dat met deze methode binnen een korte tijd veel lucht bemonsterd kan worden en er dus

een hoge gevoeligheid te behalen is. Praktische bezwaren bij het gebruik van deze pomp zijn niet alleen de grootte, maar ook het geluid dat de pomp produceert bij de bemonstering.
Andere technieken waarmee grotere hoeveelheden lucht bemonsterd kunnen worden zijn de canister, de tedlar bag en de VeriAirFlex sample bag. Dit zijn bemonsteringstechnieken die volgens hetzelfde principe werken: ze bevatten geen adsorbens, maar bewaren de bemonsterde omgevingslucht in de tank of zak. Een eerste test geeft echter aan dat met behulp van deze technieken geen nicotine gedetecteerd wordt. Dit komt omdat slechts een gedeelte van de bemonsterde lucht doorgemeten is. Om de gehele inhoud van de canister door te meten kan ook een pre-concentratie stap ingevoerd worden of de inhoud kan op het laboratorium aangezogen worden over een GC-liner met behulp van de vacuümpomp. Ook zijn recent zijn nieuwe systemen beschikbaar waarbij de gehele inhoud van de Canister gemeten worden in plaats van slecht een gedeelte.
In deze verkennende studie is de mogelijkheid tot meten van ETS componenten in de buitenlucht niet meegenomen. Ondanks dat de buiten concentraties vaak lager zijn dan binnen concentraties kan ook hier de blootstelling significant verhoogd zijn. Een recente studie laat zien dat het verbod op binnen roken ervoor zorgt dat blootstelling aan omgevingsrook verplaatst naar buiten. De gemiddelde buitenlucht nicotine concentraties op plaatsen waar binnen roken verboden is liggen rond de 1,6 ug/m^3 en op de plaatsen waar binnen roken toe is gestaan rond de 0,3 ug/m^3. De hoogste concentraties in de buitenlucht worden gevonden op half-afgesloten terrassen en liggen rond de 4,2 ug/m^3 nicotine (Lopez et al., 2012).

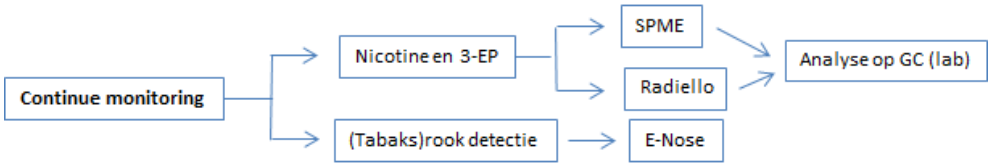


Figuur 16 Stroomdiagram voor directe monitoring van omgevingstabaksrook

4.3 Continue monitoring

Continue monitoring over een langere tijdsperiode heeft als voordeel dat een gemiddelde over één of meerdere dagen gegeven kan worden zonder aanwezigheid van een inspecteur. Er wordt dan bijvoorbeeld gemeten buiten openingstijden of tijdens openingstijden wordt de blootstelling van horeca medewerkers gedurende de dag gemeten. Nadeel van deze manier van bemonsteren is dat deze gepaard gaat met een hogere fraudegevoeligheid. Zo zou er in de gehele ruimte meer belucht kunnen worden dan dat normaal het geval is of zou het bemonsteringsapparaatje verplaatst kunnen worden.
Meettechnieken die het meest geschikt blijken te zijn voor continue meting zijn de Radiello zonder diffusiehouder en de SPME pen (figuur 16). Voor de continue meting dienen een aantal factoren verder geoptimaliseerd te worden om kwantitatieve analyses uit te kunnen voeren.
Voor zowel de Radiello als de SPME pen kan de adsorptie en detectie van nicotine en 3-EP verder geoptimaliseerd worden. Hierbij valt te denken aan verdere optimalisatie van het adsorptiemateriaal, de tijdsduur van de meting (1 dag t/m 1 week) en het optimaliseren van analyse methoden voor optimale scheiding van nicotine en 3-EP. Bij het bepalen van de tijdsduur kunnen verschillende factoren in de overweging meegenomen worden zoals de halfwaardetijd en adsorptie van nicotine aan omgevingsoppervlakten (tapijt,

gordijnen, meubels). Afhankelijk van de hoeveelheid tabaksrook in de ruimte waar gemeten wordt kan het meetsysteem verzadigd raken en kan terug diffusie optreden. Dit hangt af van factoren als de bemonsteringstijd, de aanwezige luchtstroom, het totaal bemonsterde volume en het type en de concentratie van de chemische componenten in de lucht.
De keuze voor de Radiello of SPME pen voor continue monitoring van nicotine en 3-EP hangt samen met de verschillen tussen de twee technieken. De kosten van beide technieken zijn vergelijkbaar; het verschil zit in de absorptiespecificiteit en efficiëntie. Beide technieken zijn gevoelig voor omgevingsfactoren als vocht, temperatuurverschillen en de aanwezige luchtstroom. De SPME pen lijkt wat minder gevoelig voor omgevingsfactoren dan de Radiello en is mogelijk wat minder afhankelijk van de aanwezige luchtstroom. Het adsorbens van de SPME kan een groter scala aan stoffen bemonsteren dan dat van de Radiello. Als de Radiello zonder membraan gebruikt wordt is de bemonsteringsnelheid niet te meten en kan dus geen concentratie bepaald worden van nicotine en 3-EP.
Recent is in plaats van de SPME-pen waarin zich een vezel en naald bevinden een LV-SPME op de markt gebracht welke bestaat uit een poreuze cartridge met een coating. De cartridge is geschikt om grotere volumes in een keer te analyseren. Dit is een ideale oplossing voor een gevoelige analyse waarvoor een laag detectieniveau vereist is zoals ETS detectie.



Figuur 17 Stroomdiagram voor continue monitoring van omgevingstabaksrook

4.4 Gedigitaliseerde metingen

Gedigitaliseerde luchtkwaliteit metingen kunnen snel en ter plaatse of continue uitgevoerd worden (figuur 18). Het voordeel is dat direct een indicatie gegeven kan worden van de kwaliteit van de omgevingslucht en daarmee een inschatting gemaakt kan worden van de kans op gezondheidsrisico's. Het is gemakkelijk op deze manier direct ter plaatse de waarden van (tabak)rookindicators als koolmonoxide en fijn stof in de lucht vast te stellen. Zowel fijnstof als koolmonoxide heeft een negatief effect op de gezondheid indien aanwezig in een hoge concentratie. Bij zowel het roken van sigaretten, e-sigaretten en de waterpijp kunnen hoge concentraties PM2,5 gedetecteerd worden in de omgevingslucht (Schober et al., 2013). Bij het roken van met name de waterpijp komen eveneens hoge concentraties koolmonoxide vrij (Schubert et al., 2011). Het is een goede mogelijkheid om zo een gedigitaliseerde luchtkwaliteitmeting die een verhoogde kans op ETS aantoont te combineren met chemische analyse voor ETS specifieke componenten. Op deze manier kan dan een eerste inschatting gemaakt worden over de mate waarin ETS aan te tonen is in de ruimte. Aan de hand van de uitkomst van deze meting kan dan gekozen worden om een monster te nemen van de binnenlucht. Het monster kan dan vervolgens in het lab geanalyseerd worden om een kwantitatieve indicatie te geven van de hoeveelheid tabaksrook.

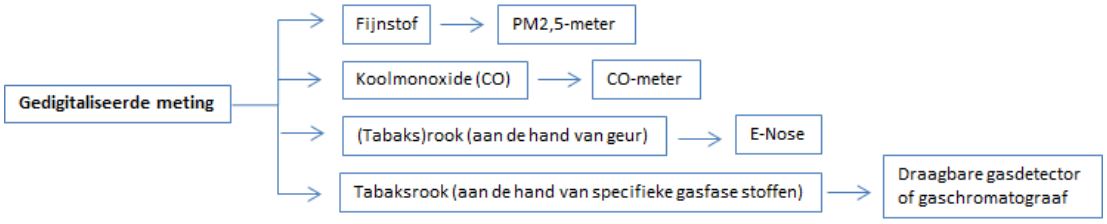
Voor stoffen waarvoor een stofspecifiek reagenssysteem bestaat kunnen gemakkelijk gedigitaliseerde binnenlucht metingen uitgevoerd worden. Gasdetectiebuisjes kunnen zelfs als ze in contact komen met kleine hoeveelheden van een specifiek gas een reactie in gang zetten.

Gezondheidsschadelijke stoffen in omgevingsrook waarvoor een dergelijk systeem bestaat zijn: benzeen, (1,3-)butadieen, (form- en acet-)aldehyden, koolmonoxide, ammonia, azijnzuur en aceton. Deze stoffen bezitten de eigenschap een specifieke kleuringsreactie of activering van een elektrisch circuit te bewerkstelligen.

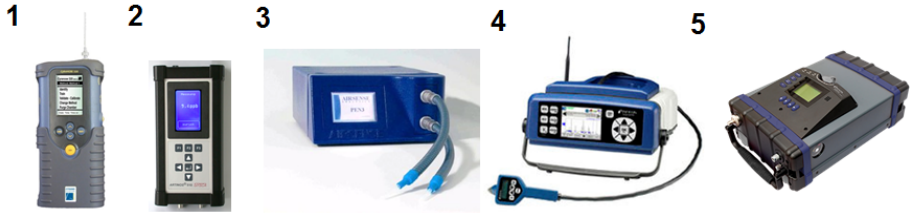
Er bestaan op het moment geen substantie specifieke gasdetectiebuisjes voor nicotine en 3-EP. Dit maakt het opzetten van een (gedigitaliseerde) omgevingsrookdetector voor deze stoffen complexer. Voor de ontwikkeling van dit soort specifieke detectiebuisjes zou gekeken kunnen worden naar chemische reacties waarbij nicotine en 3-EP betrokken zijn. Hiervoor is een reagens nodig dat reageert met de stof en een kleurreactie en of luminescentie signaal activeert waarbij elektronen vrijkomen.
Vrije-base nicotine is reactief en aanwezig in zowel de gas- als deeltjes fase. Propyleen glycol of glycerol kunnen hiermee een reactie aangaan en een kleur reactie of kleur verandering teweeg brengen. De gevoeligheid van deze reactie is niet bekend. Op het moment is hiervoor nog geen systeem ontwikkeld.

Voor het aantonen van (vluchtige) organische verbindingen in de lucht bestaan sinds kort systemen die on-site kwantitatieve analyse met behulp van een draagbare GC en detector mogelijk maken (figuur 19; nr. 4 en 5). De bemonstering wordt direct gecombineerd met de detectie en identificatie. Dit soort systemen worden onder andere toegepast bij milieumetingen. Voordelen zijn de hoge gevoeligheid van de meting en de mogelijkheid tot direct meten van meerdere chemische componenten tegelijkertijd. Nadelen zijn echter dat voor de gebruiker enige kennis en training vereist is en dat de kosten aan de hoge kant liggen.

De E-nose is een relatief goedkope en simpele automatische techniek, die binnen korte tijd een analyse van de omgevingslucht uit kan voeren (figuur 19; nr. 1 t/m 3). De selectiviteit van de techniek is niet zo hoog en kalibratie en statistische analyse zijn nodig. Een paar studies laten zien dat de geur van tabak geregistreerd kan worden en dat diverse typen tabak op basis van geur herkenning onderscheiden kunnen worden. Er is echter nog geen studie gedaan naar het onderscheidend vermogen van een e-nose ten aanzien van de geur van de rook van verbrande tabak ten opzichte van andere rook vormen (koken, brandende kaars). Er is nog additioneel onderzoek nodig om zeker te zijn dat deze methode gebruikt kan worden.



Figuur 18 Stroomdiagram voor automatische meting van omgevingstabaksrook



Figuur 19 Voorbeelden van draagbare automatische meettechnieken: 1) Cyranose 320 E-nose, 2) Artinos multi-scan 510 E-nose, 3) PEN3 E-nose, 4) Hapsite ER draagbare GC-MS, 5) Inficon explorer GC-PID-ECD

4.5 Suggesties voor drempelwaarde ETS

In deze oriënterende studie naar de verschillende technieken en meetmethoden die gebruikt kunnen worden om de concentraties omgevingstabaksrook te meten en analyseren en hebben we ons niet gericht op het exact bepalen van de minimale detectieniveaus. We kunnen globaal wat zeggen over de gevoeligheid van de techniek, maar hebben geen kwantitatieve bepalingen uitgevoerd.
Aan de hand van literatuur onderzoek kunnen we uitspraken doen over ETS drempelwaarden voor organoleptische waarneming, gezondheidseffecten en analytisch-chemische metingen.

4.5.1 *Organoleptische drempelwaarde*

In verschillende studies is onderzoek gedaan naar de drempelwaarde van de geur van omgevingstabaksrook. Een uitvoerige studie is verricht door Junker en medewerkers (Junker, Danuser, Monn, & Koller, 2001). In experimenten met verdunde omgevingstabaksrook bleek een verdunning van 1 sigaret op 19.000 m^3 nog net waarneembaar. Deze verdunningsfactor komt in de studie van Junker overeen met een concentratie van 0,72 µg/m^3 nicotine. De drempelwaarde voor oog en neus irritatie ligt in deze studie bij 1 sigaret per 3000m^3 overeenkomende met een nicotineconcentratie van 4,56 ug/m^3.
De studie is echter niet helemaal correct uitgevoerd. Een vergelijking wordt gemaakt tussen uitsluitend sigarettenrook en zeer schone lucht door een niet random geselecteerde groep (jonge niet rokende vrouwen). Hierdoor valt de drempelwaarde lager uit dan die bepaald in eerdere veldwerkstudies.
Een andere studie laat zien dat niet rokers omgevingstabaksrook waarnemen rond concentraties van 58 ug/m^3 ETS respirable suspended particles (RSP of PM10) (Walker et al., 1997). Dit komt overeen met een gemiddelde concentratie van 13,2 ug/m^3 nicotine en 1,3 ug/m^3 ethenylpyridine gedurende 90 min sessies. Deze studie geeft een vertekend beeld van de minimaal te detecteren niveaus aangezien niet getest is of lagere waarden ook nog detecteerbaar zijn. Significante verhogingen in waargenomen geursterkte, nasale en keel irritatie werden in deze studie waargenomen bij een RSP blootstelling tussen de 58 en 113 ug/m^3, nicotine (13,2-21 ug/m^3), 3-ethenylpyridine (1,3-3 ug/m^3).
In de studie van Hummel et al. wordt niet aangegeven wat de inhoud is van de ruimte waar de metingen zijn verricht waardoor geen goede vergelijking te maken is aangaande concentratie. De studie bevestigd de andere studies en laat zien dan de geur van nicotine eerst waargenomen wordt door het olfactorische systeem en dat bij een concentratie die 3-6 keer zo hoog is het trigeminale systeem geactiveerd wordt en irritatie optreed (Hummel & Livermore, 2002).

De gevoeligheid van het menselijke trigeminale systeem is variabel, waardoor de studies een lichte spreiding laten zien in de minimale nicotine concentratie (4,6-13 ug/m^3) die irritatie veroorzaakt door een verhoging in de waargenomen geursterkte. Deze concentratie komt overeen met de concentratie nicotine

gedetecteerd in rookvrije ruimten van diverse Nederlandse horecagelegenheden. Metingen in negentien horecagelegenheden laten een nicotine concentratie in rookvrije ruimte zien in een range van 2,1-27,6 ug/m^3 met een gemiddelde van 7,7 ug/m^3, bij deze concentraties wordt ETS herkend aan de geur en treed irritatie op (Opperhuizen, 2010).

4.5.2 *Chemisch-analytische drempelwaarde*

Een vergelijking van onderzoeken in het veld waarbij passief bemonsterd is laat zien dat de detectielimiet over het algemeen wat hoger ligt dan met actief bemonsteren. Met actief bemonsteren kan een hogere gevoeligheid behaald worden. Passieve bemonsteringstechnieken zijn wel in staat gevoeliger te meten dan de menselijke geurwaarneming. De studies laten zien dat een meetperiode van 1 tot 2 dagen voldoende is en dat naast nicotine ook 3-EP goed te detecteren is (tabel 5).

Nicotine

publicatie	Geheel rookvrij (ug/m^3)	Rookomgeving (ug/m^3)
(Hyvarinen et al., 2000)	0,6	1.4 – 42.2
(Black D, 2007)	Niet bepaald	17 (gemiddeld)
(Hammond & Leaderer, 1987)	Niet bepaald	16 - 250

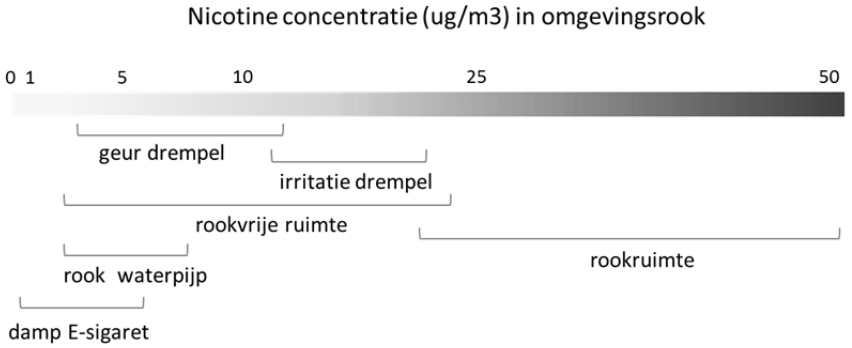
3-EP

publicatie	Geheel rookvrij (ug/m^3)	Rookomgeving (ug/m^3)
(Vainiotalo et al., 2001)	0,27	1,3 - 5,3
(Kuusimaki et al., 2007)	0,04 - 0,09	0,01 - 9,8
(Hyvarinen et al., 2000)	Niet bepaald	1,4 - 6,3
(Black D, 2007)	Niet bepaald	7,2 (gemiddeld)

Tabel 5: Passieve bemonstering (veldstudie), Nicotine en 3-EP concentraties gemeten in geheel rookvrije ruimten en rookruimten. Bemonsteringtechniek: persoons badges (10-25 ml/min.), bemonsteringstijd: ½-2 dagen, adsorbens: divers 3M, Na-bisulfate, Tenax TA 35/60.

	Detectielimiet (ug/m^3)	Geheel rookvrij (ug/m^3)	Rookvrije ruimte (ug/m^3)	Rookruimte (ug/m^3)
Nicotine	0,008	0,1 - 1	2,1 - 27,6	21,4 - 2154
3-EP	0,04	~0,04	0,4 - 9,9	1,4 - 261
$PM_{2,5}$	1	13 - 37	38 - 288	220 - 4570

Tabel 6: Actieve bemonstering (veldstudie), detectie limiet en concentraties in geheel rookvrij-, rookvrij- en rook- ruimten. Bemonsteringtechniek: grotere vacuumpomp (0,7-1,8 L/min.), bemonsteringstijd: 5 min., adsorbens: Tenax GR 60/80 liners (uit Rapport A. Opperhuizen, 2010)



Figuur 20 Verschillende detectieniveaus voor nicotine in omgevingsrook

Een eerder door ons uitgevoerde studie waarbij actief bemonsterd werd met een grotere vacuümpomp laat zien dat detectielimieten bereikt kunnen worden die zeer ver onder de geurdrempel liggen (tabel 6). Recent zijn verkennende experimenten uitgevoerd aan omgevingstabaksrook waarbij eveneens bemonsterd is met een grote vacuümpomp. De resultaten van deze experimenten tonen aan dat met deze methode een sigaret die 24 uur eerder aangestoken is niet meer te ruiken is, maar nog wel aan te tonen is met behulp van chemische analyse. De bemonsterde lucht bevatte op dat tijdspunt 1,8 ug/m^3 nicotine en 0,27 ug/m^3 3-EP. Dit geeft een indicatie van de gevoeligheid van chemisch analytische metingen ten opzichte van organoleptische waarnemingen. Om ook in grotere horecagelegenheden deze hoge gevoeligheid te halen zijn zeer gevoelige meetmethoden van belang. Dit vereist investeringen in de juiste apparatuur en in optimalisatie van het bemonsteringproces tot aan de analyse en kwantificering. De detectielimieten en de meettijd van de diverse detectiemethoden zal in vervolgonderzoek uitgezocht worden, nadat een keuze is gemaakt voor de methode die het best aansluit bij de praktijk van de inspectie, voor handhavingsdoeleinden dan wel monitoring.
Voor nicotine is een wettelijke grenswaarde voor blootstelling op de werkplek vastgesteld. De wettelijke grenswaarde van blootstelling aan nicotine op de werkplek is gesteld op 0,5 mg/m^3 over een tijdgewogen gemiddelde (TGG) van 8 uur (Arbeidsomstandighedenregeling, 2014) (Scheffers, Maas, Siegert, & Wielaard, 2009). Voor een aantal stoffen is naast de maximale aanvaarde concentratie (MAC) bij een blootstellingduur tot 8 uur per dag tevens een grenswaarde vastgesteld voor een kortdurende blootstelling van ten hoogste 15 minuten. Voor nicotine is dit niet het geval, terwijl de blootstelling vaak kortdurend is. Het strekt tot de aanbeveling hiervoor eveneens een norm vast te stellen.
Het is lastig een eenduidig antwoord te geven over de grenswaarde voor nicotine waarvoor geconcludeerd kan worden dat een overtreding van de tabakswet plaats heeft gevonden. Op het moment (begin 2014) is het zo dat afzuig installaties in rookruimten niet verplicht zijn waardoor lekrook wordt toegestaan. Rookconcentraties uit rookruimten die liggen rond de 2,1-27,6 ug/m^3 nicotine worden daarmee gedoogd terwijl deze binnen een niveau vallen die direct gezondheidseffecten veroorzaakt (irritatie) (tabel 6 en figuur 20). De gemiddelde nicotine concentratie in rookvrije ruimten van negentien gecontroleerde horecagelegenheden bedroeg 7,7 ug/m^3. Indien elf horecagelegenheden uitgesloten werden omdat daarbij de luchtzuivering niet effectief leek en duidelijk af en toe vervuilde lucht wegstroomde werd een gemiddelde nicotineconcentratie van 4,8 ug/m^3 gemeten (Opperhuizen, 2010).
Het gebruik van e-sigaretten valt niet onder de tabakswet en is toegestaan, alhoewel bij nicotine bevattende e-sigaretten ook nicotine via de uitgeademde

damp in de omgevingslucht terecht komt (figuur 19) (Czogala et al., 2013). Ook bij het roken van de waterpijp is recent een studie uitgevoerd die de hoeveelheid nicotine in omgevingstabaksrook gemeten heeft en concludeert dat deze gemiddeld rond de 3,5 ug/m^3 ligt (Zhang, Haji, Kaufman, Muir, & Ferrence, 2013). Aan de hand van deze gegevens zou een ondergrens voorgesteld kunnen worden die kleiner of gelijk is aan 4 ug/m^3 nicotine. Een veilige ondergrens voor lange termijn gezondheidseffecten door blootstelling aan omgevingstabaksrook is niet te noemen.
Een norm voor ETS zou gebaseerd moeten zijn op het gezondheidsrisico van alle componenten bij elkaar aangezien het om een mengsel van vele stoffen gaat. Er bestaan echter alleen normen voor de afzonderlijke ETS componenten. Deze normen gerelateerd aan volksgezondheid en arbeidsomstandigheden dragen bij aan het bepalen van een betekenisvolle drempelwaarde, maar zijn vaak niet eenduidig. De mate waarin bepaalde chemicaliën effect hebben op de gezondheid van een persoon en bij welke mate van blootstelling deze plaats vindt is erg moeilijk of niet te voorspellen. De vele chemicaliën in omgevingstabaksrook hebben verschillende toxicokinetische en metabole routes in het lichaam. Acute en chronische respiratoire gezondheidseffecten bij kinderen zijn aangetoond in huizen met rokers (nicotine 1-10 g/m^3) en zelfs in huizen met gelegenheid rokers (0,1-1 g/m^3). De effecten van een rookvrije omgeving op de gezondheid van kinderen, foetussen en pasgeborenen is aanzienlijk (Been et al., 2014; WHO, 2013).
De normen die voor binnenluchtkwaliteit zijn afgeleid door de WHO en door het RIVM zijn niet wettelijk vastgelegd. Voor de meeste stoffen heeft de luchtkwaliteitsnorm betrekking op langdurige blootstelling en wordt die uitgedrukt als jaargemiddelde concentratie. Normen voor de werknemer geven de risicogrenzen aan voor stoffen in de lucht op de werkplek. Deze zijn niet alleen vastgelegd voor nicotine, maar ook voor andere componenten voorkomend in omgevingstabaksrook zoals koolmonoxide en fijnstof (ATSDR; RIVM, 2014; WHO, 2014).

5 Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Conclusies

- Het is mogelijk ETS te meten met handzame- en gebruikersvriendelijke detectiemethode voor zowel directe- als continue monitoring doeleinden

- Aan de hand van deze resultaten worden aanbevelingen gedaan welke detectiemethoden het meest geschikt zijn voor toepassing bij handhaving of zelfregulering doeleinden (zie discussie en fig. 16, 17 en 18).

- Er zijn diverse mogelijkheden de detectiemethoden al dan niet gedeeltelijk te digitaliseren.

- De technieken die in dit project ontwikkeld zijn hebben een goed potentieel spoedig in de praktijk toegepast te kunnen worden.

Aanbeveling voor vervolgonderzoek

- Optimalisatie van geselecteerde detectiemethoden voor kwantitatieve ETS bepaling, waarmee vragen beantwoord kunnen worden zoals:
    1. Is het mogelijk ETS te detecteren met deze methoden in horeca locaties?
    2. Wat is de benodigde tijdsduur voor een betrouwbare meting ?
    3. Wat is de concentratie van ETS in deze ruimte?
    4. Kan gevoeliger gemeten worden dan het menselijk geurvermogen? (bepalen detectielimieten)

- Mogelijkheden om de geselecteerde ETS detectiemethoden verder te optimaliseren:
    1. Verdere optimalisatie van zowel detectie- als chemische analyse methoden voor SPME, handpomp +TDT en/of Canister
    2. Door zo groot mogelijke ETS volumes zo efficiënt mogelijk te bemonsteren en over te brengen op gevoelige apparatuur voor analyse (Investering in randapparatuur behorend bij nieuwe GC-MS o.a. groot volume/actieve SPME houders).
    3. Gedigitaliseerde luchtkwaliteit metingen verder te analyseren en te optimaliseren al dan niet voor toepassingen in combinatie met chemisch-analytische detectiemethoden.

6 Literatuur

Apelberg, B. J., Hepp, L. M., Avila-Tang, E., Gundel, L., Hammond, S. K., Hovell, M. F., . . . Breysse, P. N. (2013). Environmental monitoring of secondhand smoke exposure. *Tob Control, 22*(3), 147-155. doi: 10.1136/tobaccocontrol-2011-050301

Arbeidsomstandighedenregeling. (2014). Wet- en regelgeving, Nederlandse overheid.

Atkinson, R., & Arey, J. (1994). Atmospheric chemistry of gas-phase polycyclic aromatic hydrocarbons: formation of atmospheric mutagens. *Environ Health Perspect, 102 Suppl 4*, 117-126.

ATSDR. Regulations, Advisories, and Guidelines Applicable to Carbon Monoxide.

Been, J. V., Nurmatov, U. B., Cox, B., Nawrot, T. S., van Schayck, C. P., & Sheikh, A. (2014). Effect of smoke-free legislation on perinatal and child health: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. doi: 10.1016/s0140-6736(14)60082-9

Black D, G. I., Casstles H. (2007). Monitoring the exposure of hospitality workers to second-hand smoke: establishing a base-line in advance of the smoke free legislation. *Journal of Environmental Health Research, 6*(1).

Brand, G. (2006). Olfactory/trigeminal interactions in nasal chemoreception. *Neurosci Biobehav Rev, 30*(7), 908-917. doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.01.002

Brudzewski, K., Osowski, S., & Golembiecka, A. (2012). Differential electronic nose and support vector machine for fast recognition of tobacco. *Expert Systems with Applications, 39*(10), 9886-9891. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.163

Brunnemann, K. D., Cox, J. E., & Hoffmann, D. (1992). Analysis of tobacco-specific N-nitrosamines in indoor air. *Carcinogenesis, 13*(12), 2415-2418.

Burstyn, I. (2014). Peering through the mist: systematic review of what the chemistry of contaminants in electronic cigarettes tells us about health risks. *BMC Public Health, 14*(1), 18. doi: 10.1186/1471-2458-14-18

Burton, A. (2011). Does the smoke ever really clear? Thirdhand smoke exposure raises new concerns. *Environ Health Perspect, 119*(2), A70-74. doi: 10.1289/ehp.119-a70

Chao. (2002). Source Apportionment of Indoor PM2.5 and PM10 in Homes. *Indoor and Built Environment, 11*(1), 27-37.

Chiu, S. W., & Tang, K. T. (2013). Towards a chemiresistive sensor-integrated electronic nose: a review. *Sensors (Basel), 13*(10), 14214-14247. doi: 10.3390/s131014214

Cieślak. (2013). Fibers susceptibility to contamination by environmental tobacco smoke markers. *Textile research journal*.

Czogala, J., Goniewicz, M. L., Fidelus, B., Zielinska-Danch, W., Travers, M. J., & Sobczak, A. (2013). Secondhand Exposure to Vapors From Electronic Cigarettes. *Nicotine Tob Res*. doi: 10.1093/ntr/ntt203

de Meij, T. G., Larbi, I. B., van der Schee, M. P., Lentferink, Y. E., Paff, T., Terhaar Sive Droste, J. S., . . . de Boer, N. K. (2014). Electronic nose can discriminate colorectal carcinoma and advanced adenomas by fecal

volatile biomarker analysis: proof of principle study. *Int J Cancer, 134*(5), 1132-1138. doi: 10.1002/ijc.28446

Ding, W., Zhu, Z., Zhang, C., Chen, X., Jiang, W., Liang, Y., . . . Tian, F. (2013). Detection of Smell Change of Flue-Cured Tobacco Based on an Electronic Nose. *Intelligent Automation & Soft Computing, 19*(2), 195-206. doi: 10.1080/10798587.2013.787187

Dräger. (2013). Dräger alcohol- en drugsdetectie

Fens, N., Roldaan, A. C., van der Schee, M. P., Boksem, R. J., Zwinderman, A. H., Bel, E. H., & Sterk, P. J. (2011). External validation of exhaled breath profiling using an electronic nose in the discrimination of asthma with fixed airways obstruction and chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Exp Allergy, 41*(10), 1371-1378. doi: 10.1111/j.1365-2222.2011.03800.x

Foust. Visibility and Light Scattering in the Atmosphere *dept. Chemistry and Environmental Science, Northern Arizona University*.

Fu, M., Martinez-Sanchez, J. M., Galan, I., Perez-Rios, M., Sureda, X., Lopez, M. J., . . . Fernandez, E. (2013). Variability in the correlation between nicotine and PM2.5 as airborne markers of second-hand smoke exposure. *Environ Res, 127*, 49-55. doi: 10.1016/j.envres.2013.09.003

Glass, D. (2012). Why Cigarette Smoke is Blue–or White.

Greenberg, M. I., Curtis, J. A., & Vearrier, D. (2013). The perception of odor is not a surrogate marker for chemical exposure: a review of factors influencing human odor perception. *Clin Toxicol (Phila), 51*(2), 70-76. doi: 10.3109/15563650.2013.767908

Hammond, S. K., & Leaderer, B. P. (1987). A diffusion monitor to measure exposure to passive smoking. *Environ Sci Technol, 21*(5), 494-497. doi: 10.1021/es00159a012

Horecawet, D.-e. (2014). Drank- en Horecawet, Nederlandse overheid.

Hummel, T., & Livermore, A. (2002). Intranasal chemosensory function of the trigeminal nerve and aspects of its relation to olfaction. *Int Arch Occup Environ Health, 75*(5), 305-313. doi: 10.1007/s00420-002-0315-7

Hyvarinen, M. J., Rothberg, M., Kahkonen, E., Mielo, T., & Reijula, K. (2000). Nicotine and 3-ethenylpyridine concentrations as markers for environmental tobacco smoke in restaurants. *Indoor Air, 10*(2), 121-125.

Jenkins, R. A., Maskarinec, M. P., Counts, R. W., Caton, J. E., Tomkins, B. A., & Ilgner, R. H. (2001). Environmental tobacco smoke in an unrestricted smoking workplace: area and personal exposure monitoring. *J Expo Anal Environ Epidemiol, 11*(5), 369-380. doi: 10.1038/sj.jea.7500178

Junker, M. H., Danuser, B., Monn, C., & Koller, T. (2001). Acute sensory responses of nonsmokers at very low environmental tobacco smoke concentrations in controlled laboratory settings. *Environ Health Perspect, 109*(10), 1045-1052.

Khanh Huynh, C., Moix, J. B., & Dubuis, A. (2008). [Development and application of the passive smoking monitor MoNIC]. *Rev Med Suisse, 4*(144), 430-433.

Kuusimaki, L., Peltonen, K., & Vainiotalo, S. (2007). Assessment of environmental tobacco smoke exposure of Finnish restaurant workers, using 3-ethenylpyridine as marker. *Indoor Air, 17*(5), 394-403. doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00487.x

Liu, Y., Antwi-Boampong, S., BelBruno, J. J., Crane, M. A., & Tanski, S. E. (2013). Detection of secondhand cigarette smoke via nicotine using conductive polymer films. *Nicotine Tob Res, 15*(9), 1511-1518. doi: 10.1093/ntr/ntt007

Lopez, M. J., Fernandez, E., Gorini, G., Moshammer, H., Polanska, K., Clancy, L., . . . Nebot, M. (2012). Exposure to secondhand smoke in terraces and other outdoor areas of hospitality venues in eight European countries. *PLoS One, 7*(8), e42130. doi: 10.1371/journal.pone.0042130

Morawska, J., **Bofinger**. (1997). Size characteristics and ageing of the environmental tobacco smoke. *Science of The Total Environment, 196*(1), 43–55.

NVWA. (2008). Controles op het rookverbod.

NVWA. (2010). Inventarisatie naleefniveau rookvrije horeca 2008-2010. from http://www.vwa.nl/onderwerpen/wet-en-regelgeving/dossier/tabakswet/nieuwsoverzicht/nieuwsbericht/2000142/naleving-rookverbod

NVWA. (2013). Inventarisatie naleefniveau rookvrije horeca 2013.

Opperhuizen, A. (2010). *Zwerfrook en Alternatieven voor Rookruimten*.

Palazzolo, D. L. (2013). Electronic Cigarettes and Vaping: A New Challenge in Clinical Medicine and Public Health. A Literature Review. *Front Public Health, 1*, 56. doi: 10.3389/fpubh.2013.00056

Piadea, D'andreas, & Sanders. (1999). Sorption Phenomena of Nicotine and Ethenylpyridine Vapors on Different Materials in a Test Chamber. *Environ. Sci. Technol., 33*, 2046-2052.

Rajkumar, S., Huynh, C. K., Bauer, G. F., Hoffmann, S., & Roosli, M. (2013). Impact of a smoking ban in hospitality venues on second hand smoke exposure: a comparison of exposure assessment methods. *BMC Public Health, 13*, 536. doi: 10.1186/1471-2458-13-536

Rijksoverheid. (2013). Volledig rookvrije horeca in 2014, nieuwsbericht rijksoverheid.

RIVM. (2014). Luchtkwaliteitsnormen.

Scheffers, T., Maas, J., Siegert, H., & Wielaard, P. (2009). Dossie vluchtige organische stoffen. Retrieved 10 december, 2013, from http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Vluchtige_organische_stoffen/D_Vluchtige_organische_stoffen.pdf

Schick, S. F., Farraro, K. F., Perrino, C., Sleiman, M., van de Vossenberg, G., Trinh, M. P., . . . Balmes, J. (2013). Thirdhand cigarette smoke in an experimental chamber: evidence of surface deposition of nicotine, nitrosamines and polycyclic aromatic hydrocarbons and de novo formation of NNK. *Tob Control*. doi: 10.1136/tobaccocontrol-2012-050915

Schober, W., Szendrei, K., Matzen, W., Osiander-Fuchs, H., Heitmann, D., Schettgen, T., . . . Fromme, H. (2013). Use of electronic cigarettes (e-cigarettes) impairs indoor air quality and increases FeNO levels of e-cigarette consumers. *Int J Hyg Environ Health*. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.11.003

Schubert, J., Hahn, J., Dettbarn, G., Seidel, A., Luch, A., & Schulz, T. G. (2011). Mainstream smoke of the waterpipe: does this environmental matrix reveal as significant source of toxic compounds? *Toxicol Lett, 205*(3), 279-284. doi: 10.1016/j.toxlet.2011.06.017

Smeets, M. A., & Dalton, P. H. (2005). Evaluating the human response to chemicals: odor, irritation and non-sensory factors. *Environ Toxicol Pharmacol, 19*(3), 581-588. doi: 10.1016/j.etap.2004.12.023

Spectrum. (2003). Chemical Fact Sheet. 2pp.

Tabakswet. (2014). Tabakswet, Nederlandse overheid.

Trinh Vu-Duc, & Huynh, C.-K. (1989). Sidestream tobacco smoke constituents in indoor air modelled in an experimental chamber— Polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environment International, 15*(1-6), 57–64.

Vainiotalo, S., Vaaranrinta, R., Tornaeus, J., Aremo, N., Hase, T., & Peltonen, K. (2001). Passive monitoring method for 3-ethenylpyridine: a marker for environmental tobacco smoke. *Environ Sci Technol, 35*(9), 1818-1822.

Van Loy, M. D., Riley, W. J., Daisey, J. M., & Nazaroff, W. W. (2001). Dynamic behavior of semivolatile organic compounds in indoor air. 2. Nicotine and phenanthrene with carpet and wallboard. *Environ Sci Technol, 35*(3), 560-567.

van Rijn, M. J. (2014). Nota van wijziging wetsvoorstel wijziging Tabakswet. *Rijksoverheid ministerie van VWS*.

Walker, J. C., Nelson, P. R., Cain, W. S., Utells, M. J., Joyce, M. B., Morgan, W. T., . . . Stancill, M. W. (1997). Perceptual and Psychophysiological Responses of Non-smokers to a Range of Environmental Tobacco Smoke Concentrations. *Indoor Air, 7*(3), 173-188. doi: 10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00003.x

WHO. (2013). WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee *WHO Recommendations for the Prevention and Management of Tobacco Use and Second-Hand Smoke Exposure in Pregnancy*. Geneva: World Health Organization

Copyright (c) World Health Organization 2013.

WHO. (2014). Ambient (outdoor) air quality and health.

Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors (Basel), 9*(7), 5099-5148. doi: 10.3390/s90705099

Zhang, B., Haji, F., Kaufman, P., Muir, S., & Ferrence, R. (2013). 'Enter at your own risk': a multimethod study of air quality and biological measures in Canadian waterpipe cafes. *Tob Control*. doi: 10.1136/tobaccocontrol-2013-051180

7 Bijlage: Materialen en analyse methoden

7.1 Materialen

- Radiello (Figuur 1) (Sigma) VOC adsorptie cartridge: Carbograph 4, 35-50 mesh gebruikt met twee typen diffusie houders met porositeit 10 um of 25 um. (Rad 145S BTEX/VOC's thermische desorptier)
- 3M badge (3M 3500 badge organic vapor monitor)
- SPME twee typen fibers zijn gebruikt: PDMS (rood) en DVB/CAR/PDMS (grijs)
- E-Nose (Comon Invent) met vier sensoren
- Canister (nadere info; merk order/ no oid)
- Combinatie meter (koolmonoxide, koolstofdioxide, luchtvochtigheid, temperatuur).
- deeltjes teller
- VeriAirFlex sample bag
- Tedlarbag.
- Handzame vacuum pomp (SKC) aircheck 52, 1-3 L/min lightweight
- Handzame vacuum pomp (SKC) Leland legacy (~1kg; 5-15 L/min.)
- Membraan-vacuumpomp (Carl Roth) Laboport Membraan-stabiliseringssysteem voor groot zuigvermogen in het lage vacuümbereik (~10kg; 20-30 L/min.)
- Koolstof gevulde thermodesorptie buis (Perkin-elmer) Tenax GR 60/80 (specifieke koolstof).
- GC-liners, (Agilent crosslab GC inlet liners 8004-0108 voor Varian)
- Standaarden: Nicotine Riedel de Haen (ordernr. 36733), 4-ethenylpyridine Sigma Aldrich (ordernr. V3204-5ML).
- Q-trak binnenlucht kwaliteit monitor 7565
- AirToxic thermodesorptie tube
- Sigaretten: Marlboro rood

7.2 Tijdschema bemonstering

Dag 1 (9/12/2013)

- Blanco meting handpomp + TDT
- Binnenlucht kwaliteit meting

2 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden
Na 30 min. : 3 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden

- Bemonstering handpomp + TDT: 10 min. (fig. 13)

Dag 2 (10/12/2013)

- Blanco meting handpomp + TDT
- Bemonstering handpomp + TDT: 10 min. (fig. 14)

3 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden

Dag 3 (11/12/2013)

3 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden
Halverwege de dag werd mechanische ventilatie aangeschakeld

Dag 4 (12/12/2013)

6 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden

- Bemonstering Radiello zonder diffusiehouder (fig. 5)

- Bemonstering Radiello met diffusiehouder met 10 um poriën daarna met 25 um poriën diffusiehouder (fig. 3)
- Bemonstering grote vacuümpomp + GC-liner (fig. 15)

Dag 5 (13/12/2013)
5 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden
6 sigaretten aangestoken en uit zichzelf op laten branden

Dag 6 en 7 (14/12/2013 en 15/12/2013)
Geen sigaretten aangestoken en geen metingen verricht

Dag 8 (17/12/2013)
6 sigaretten aangestoken
- Bemonstering Canister, zonder restrictor (fig. 11)
- Bemonstering Canister gevolgd door bemonstering grote vacuümpomp + GC-liner lucht gevangen door canister (flow ca. 200 mL/min) (fig. 12)
- Bemonstering gedurende 8 dagen SPME (fig. 6 en 7)
- Bemonstering gedurende 8 dagen Radiello met diffusiehouder met 10 um poriën (fig. 4)
- Bemonstering gedurende 8 dagen 3M badge
- Bemonstering gedurende 8 dagen E-nose (fig. 8-10)

7.3 Analyse methoden

- Meetlocatie: op een grote tafel in het midden van ruimte G20 (RIVM). In deze ruimte bevind zijn geen meubilair, op de vloer bevind zich tapijt. Deze ruimte heeft een inhoud van 50-60 m3. Een uit te schakelen ventilatiesysteem
- Type GC (Varian CP-3800 met TSD and FID detector) , kolom (VF 5ms 25x0.32 agilent CP 8953), injector (PTV injector), carrier gas (helium), kolom oven (160-230 10 ºC /min , detector settings (TSD 300 ºC ,FID 275 ºC)

GC-MS condities (doormeten SPME)
- kolom: Rxi-XLB, 30m * 0.25 mm, df=0.1 um
- flow: 1 mL/min CF
- injectie T: 250ºC
- injectie tijd: 5 min.
- T programma: 80ºC (1') --10ºC/min→ 300ºC (5")

GC-MS-TD analyse condities (Radiello & Thermodesorptie)
GC
- kolom: Rxi-XLB, 30m * 0.25 mm, df=1 um
- flow: 1 mL/min CF
- GC T programma: 80ºC (1') --10ºC/min→ 300ºC (5")

MS
- Scan: 50 – 500
- Scan rate: 5 scans/s
- Bron T: 250ºC
- MS Xferline: 300ºC

Thermodesorptie
- Desorptie temp. : 300ºC
- Desorptie tijd: 10 min.

RIVM
De zorg voor morgen begint vandaag