

# NORAH

Noise-related annoyance, cognition, and health

## Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld

---

Endbericht, Band 4:

Fluglärm und nächtlicher Schlaf

29.09.2015

## **AUTOREN, PROJEKTBEARBEITUNG DIESES TEILPROJEKTS**

Uwe Müller	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Daniel Aeschbach	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
Eva-Maria Elmenhorst	Abteilung Flugphysiologie
Franco Mendolia	Linder Höhe
Julia Quehl	51147 Köln
Alex Hoff	
Iris Rieger	
Stefan Schmitt	
Wilma Littel	Universitätsklinikum Gießen-Marburg

## **HERAUSGEBER, AUFTRAGGEBER**

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH  
Rüsselsheimer Str. 100  
65451 Kelsterbach

## **GESAMTKOORDINATION DER NORAH-STUDIE**

Rainer Guski	Ruhr-Universität Bochum
Dirk Schreckenberger	ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, Hagen

## **KOOPERATIONSPARTNER DIESES TEILPROJEKTS**

Mathias Basner                      University of Pennsylvania, Perelman School of Medicine,  
Philadelphia, U.S.A.  
Sarah McGuire

## **WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT - EXTERNE QUALITÄTSSICHERUNG**

Mark Brink                          Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Zürich  
Erland Erdmann                    Universität zu Köln  
Kerstin Giering                    Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld  
Barbara Griefahn                  Leibniz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund  
Jürgen Hellbrück                  Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (ab Januar 2014)  
Wolfgang Hoffmann                Universitätsmedizin Greifswald  
Christian Maschke                  Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz  
Brandenburg, Potsdam (bis Dezember 2013)  
Lothar Ohse                         Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden  
Georg Thomann                    Amt für Natur und Umwelt, CH-Graubünden  
Irene van Kamp                    Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL-Bilthoven  
Joachim Vogt                        Technische Universität Darmstadt (ab April 2014)

September 2015

## ZUR STUDIE NORAH - VERKEHRSLÄRMWIRKUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD - ERSCHIENENE BÄNDE

- Band 1 Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern
- Band 2 Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen
- Band 3 Belästigung und Lebensqualität
- Band 4 Fluglärm und nächtlicher Schlaf
- Band 5 Blutdruckmonitoring
- Band 6 Erkrankungsrisiken
- Band 7 Gesamtbetrachtung

Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen wissenschaftlichen Texte, Grafiken, Tabellen und sonstigen Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Urhebers oder des Herausgebers weder ganz, noch auszugsweise kopiert, verändert, vervielfältigt oder veröffentlicht werden. Eine - auch auszugsweise - Veröffentlichung oder Verwendung dieses Dokumentes ist auch mit Zustimmung von Urheber bzw. Herausgeber grundsätzlich nur unter Angabe der vollständigen Quelle zulässig.

# Inhalt

Inhalt	5
Glossar, Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung	10
<b>Summary</b>	<b>14</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>18</b>
1.1 Hintergrund .....	18
1.2 Lärm und Schlaf .....	19
1.3 Auswirkungen veränderter Lärmexposition auf das Schlafverhalten.....	21
1.4 Vegetativ-motorische Reaktionen .....	23
1.5 Subjektive Reaktionen.....	24
1.6 Hypothesen.....	28
1.6.1 Physiologische Reaktionen .....	28
1.6.2 Subjektive Reaktionen .....	29
<b>2 Material und Methoden</b>	<b>32</b>
2.1 Probandenauswahl .....	32
2.2 Untersuchungsablauf.....	39
2.3 Untersuchte Stichprobe .....	41
2.4 Akustik .....	56
2.4.1 Messaufbau .....	56
2.4.2 Akustische Probemessungen in 2011 und 2012.....	57
2.4.3 Auswertungsmethodik.....	59
2.4.4 Deskriptive Darstellung der akustischen Messwerte.....	61
2.5 Polysomnografie .....	71
2.5.1 Schlaf-EEG .....	71
2.5.2 Schlafkennwerte.....	74
2.5.3 Aktimetrie .....	75
2.6 Weiterentwicklung einer einfachen Methodik zur Messung vegetativ - motorischer Reaktionen im Schlaf .....	76
2.6.1 Algorithmus zur Bestimmung von vegetativ-motorischen Reaktionen im EKG- und Aktimetersignal .....	77
2.6.2 Übereinstimmungsmaß „Cohens Kappa“ .....	78

2.6.3	Validierung .....	79
2.7	Subjektive Reaktionen: verwendete Fragebögen und Skalen .....	80
2.8	Statistische Verfahren .....	83
2.8.1	Ermittlung von Aufwachreaktionen aus der Polysomnografie .....	83
2.8.1	Ereigniskorrelierte Auswertung .....	83
2.8.2	Univariate Analyse.....	84
2.8.3	Multivariable Regressionsanalyse.....	85
2.8.4	First Night Effect .....	88
3	Ergebnisse .....	89
3.1	Physiologische Untersuchungen des Schlafs .....	89
3.1.1	Ergebnisse: spontane Aufwachwahrscheinlichkeit .....	89
3.1.2	Auswirkungen der Kernruhezeit .....	91
3.1.3	Vergleich der Flughäfen Frankfurt und Köln-Bonn .....	103
3.1.4	Zusammenhang zwischen subjektiver Bewertung des Flugverkehrs und Störungen des Schlafs.....	111
3.1.5	Längsschnittvergleich der Jahre 2011, 2012 und 2013 mittels vegetativ-motorischer Methode .....	116
3.1.6	Explorative Analyse der Unterschiede in den Expositions-Wirkungsbeziehungen der Polysomnografie im Vergleich zur vegetativ-motorischen Methode .....	119
3.2	Subjektive Reaktionen.....	121
3.2.1	Deskriptive Statistik.....	121
3.2.2	Schlafbezogene Expositions-Wirkungskurven 2011.....	125
3.2.3	Schlafbezogene Expositions-Wirkungskurven 2012.....	128
3.2.4	Schlafbezogene Expositions-Wirkungskurven 2013.....	130
3.2.5	Ergebnisse zur akuten Belästigung durch Fluglärm in der Nacht .....	134
3.2.6	Längsschnittanalysen von 2011 bis 2013 .....	143
4	Zusammenfassung und Diskussion .....	152
4.1	Physiologische Untersuchungen des Schlafs .....	152
4.1.1	Hypothese 1: Auswirkungen der Kernruhezeit.....	152
4.1.2	Hypothese 2: Übertragbarkeit von Expositions-Wirkungskurven zwischen Flughäfen mit unterschiedlichen Verkehrsmustern.....	153
4.1.3	Hypothese 3: Zusammenhang zwischen subjektiver Bewertung des Flugverkehrs und objektiv gemessenen Störungen des Schlafs .....	155
4.1.4	Hypothese 4: Gewöhnungsprozesse .....	156

4.2 Subjektive Reaktionen.....	158
4.3 Einschränkungen.....	160
5 Danksagung	162
Literatur	163
Tabellenverzeichnis	177
Abbildungsverzeichnis	180
Anhang 1: Technische Probleme mit der Polysomnografie in 2011 und daraus abgeleitete Konsequenzen für die Datenauswertung	187

## Glossar, Abkürzungsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	Bedeutung
AIC	Akaike Information Criterion
ARAS	aufsteigendes, retikuläres, aktivierendes System
dB	Dezibel, physikalische Einheit des Schalldruckpegels
dB(A)	physikalische Einheit des A-bewerteten Schalldruckpegels
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DLR	Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DNL	Day-night average sound level
EEG	Elektroenzephalogramm, Darstellung der elektrischen Aktivitätsschwankungen des Gehirns, hier: zur Bestimmung der Schlafstadien
EKG	Elektrokardiogramm, Darstellung der elektrischen Aktivitätsschwankungen aller Herzmuskelfasern
EMG	Elektromyografie, Messung der elektrischen Muskelaktivität
EOG	Elektrookulografie, Messung der Augenbewegung
FAA	Federal Aviation Administration, US-amerikanische Luftfahrtbehörde
FAT	Fatigue-Fragebogen nach Samn & Pirelli (1982)
FNI	Frankfurter Nachtindex
FRA	Flughafen Frankfurt am Main
GEE	Generalized Estimating Equations
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
KSS	Karolinska Sleepiness Scale nach Åkerstedt & Gillberg (1990)
$L_{ASeq}$	Energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel, A-bewertet, Zeitkonstante Slow
$L_{ASmax}$	Maximalschalldruckpegel, A-bewertet, Zeitkonstante Slow
N	Stichprobenumfang, Anzahl
NORAH	Noise Related Annoyance, Cognition and Health
Matlab	Matrix Laboratory, Software der Firma The MathWorks
MCAR	Missing Completely at Random
p	p-Wert
PSG	Polysomnografie, Aufzeichnung schlafrelevanter Größen
$QIC_u$ / $QIC$	Quasi-AIC
R	Statistiksoftware, GNU-Projekt
REM	Rapid Eye Movement, Schlafphase, die durch schnelle Augenbewegungen charakterisiert ist
SAS	Statistiksoftware der Firma SAS-Institute
SEL	Einzelereignispegel
SPSS	Statistik- und Analysesoftware der Firma IBM
STD	Standardabweichung
UPenn	University of Pennsylvania
VAS	Visuelle Analogskalen
VMM	Vegetativ-motorische Methode



<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>Bedeutung</b>
VMR	Vegetativ-motorische Reaktion
WBQ	Wissenschaftlicher Beirat für Qualitätssicherung

## Zusammenfassung

Im NORAH-Teilmodul „Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf“ untersuchte das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in den Jahren 2011-2013 in drei Messperioden den Schlaf von Anwohnern des Frankfurter Flughafens vor und nach Eröffnung der Landebahn Nordwest im Oktober 2011 und der damit einhergehenden Kernruhezeit von 23-5 Uhr. In der Studie wurden von 2011 bis 2013 insgesamt 202 schlafgesunde erwachsene Probanden im Alter von 18 bis 78 Jahren untersucht. 49 Probanden im Jahr 2011 und 83 Probanden im Jahr 2012 wurden mittels der aufwendigen Methode der Polysomnografie (PSG) in jeweils drei Nächten untersucht. Die NORAH-Schlafstudie ist damit die von der Probandenanzahl her bisher weltweit größte Erhebung im Feld zu den akuten Auswirkungen von Fluglärm auf den mittels PSG gemessenen Schlaf von Anwohnern. Im Jahr 2013 wurden 187 Probanden ebenfalls jeweils 3 Nächte mit einer weniger aufwendigen Methode zur Detektion von vegetativ-motorischen Reaktionen im Schlaf vermessen. 39 Probanden nahmen in allen drei Erhebungsjahren, 36 in zwei Jahren teil. Im Jahr 2011 gingen die Probanden um 22-22:30 Uhr zu Bett und standen um 6-6:30 Uhr auf (Bettzeitgruppe 1), in den Jahren 2012 und 2013 wurde eine weitere Gruppe mit einer um eine Stunde späteren Bettzeit (Bettzeitgruppe 2) untersucht. In allen Jahren wurden der Schalldruckpegel und die Geräusche in der Nacht kontinuierlich am Ohr des Schlafenden aufgezeichnet.

Die Ergebnisse der Schlafstudie zeigen, dass sich mit der Einführung der Kernruhezeit und der damit einhergehenden Verringerung an Überflügen im betrachteten Nachtzeitraum die fluglärmassoziierte Aufwachhäufigkeit pro Nacht der Probanden in der Bettzeitgruppe 1 im Mittel von 2011 auf 2012 von 2,0 auf 0,8 vermindert hat und somit das Hauptziel der Einführung der Kernruhezeit erreicht wird. Mit zunehmender Anzahl an Fluggeräuschen treten auch mehr fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen auf, die zu einer Fragmentierung des Schlafs (verminderte Kontinuität) führen, ohne dass dabei die Gesamtschlafdauer verkürzt wird.

Die Bettzeitgruppe 2 hatte im Jahr 2012 eine mittlere fluglärmassoziierte Aufwachhäufigkeit von 1,9 pro Nacht. Der Unterschied gegenüber der Bettzeitgruppe 1 ist in der um eine Stunde längeren Fluglärmexposition in dieser Gruppe in den Morgenstunden bedingt. Frühes zu Bett gehen (d.h. das Ende der Nacht überlappt möglichst wenig mit den verkehrsreichen Zeiten am Morgen) wirkt sich also protektiv auf den Schlaf aus.

Es konnten Expositions-Wirkungskurven berechnet werden, die die Aufwachwahrscheinlichkeit bei einem Überflug in Abhängigkeit vom maximalen Schalldruckpegel darstellen. In das Modell gehen weiterhin die Geräuschdauer, die Anzahl der vorangegangenen Fluglärmereignisse, das Alter der Probanden, die verstrichene Schlafdauer und der Hintergrundpegel ein. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Überfluggeräusch mit einem bestimmten Maximalpegel aufzuwachen, unterschied sich in den Jahren 2011 und 2012 nicht signifikant. Bei einem Hintergrundpegel von 28,8 dB(A) erhöhte sich in beiden Jahren pro 10 dB(A)-Anstieg des Maximalpegels eines

Überflugeräusches die Chance aufzuwachen um 23 %. Gesamtschlafdauer, Einschlaf latenz, Schlafeffizienz, Wachdauer nach dem Einschlafen und prozentualer Wachanteil ab 4:30 Uhr unterschieden sich in beiden Jahren statistisch nicht signifikant. Diese Werte waren auch im Vergleich der beiden Bettzeitgruppen des Jahres 2012 nicht statistisch signifikant voneinander verschieden.

Probanden, die den Flugverkehr eher positiv bewerteten, zeigten weniger objektiv gemessene Schlafstörungen. Die Kausalität des Zusammenhangs, ob also der gestörtere Schlaf eine negative Einstellung nach sich zieht oder umgekehrt, kann nicht aufgeklärt werden.

Die subjektiven Schläfrigkeits- und Müdigkeitsbewertungen lagen in allen drei Untersuchungsjahren auf einem mittleren Niveau. Die subjektive Gewöhnung an Fluglärm, das subjektive Lautstärkeempfinden in der Wohngegend, das Alter und der Chronotyp der Probanden beeinflussten die Schläfrigkeits- und Müdigkeitsbewertungen statistisch signifikant. Das subjektive Erleben guten Schlafs verschlechterte sich trotz Einführung der Kernruhezeit statistisch signifikant vom Jahr 2011 bis zum Jahr 2013 um 5 % bzw. 11 %, unabhängig von der Fluglärmbelastung. Dieser Effekt muss daher auf nicht erhobene Faktoren zurückgeführt werden. Dieses Ergebnis gilt auch für die Probanden, die in allen drei Jahren teilnahmen.

Eine zusätzliche Erhebung im Jahr 2013 während der vergangenen Nacht zeigte einen statistisch signifikanten Einfluss der Anzahl an Überflügen und des durch den Fluglärm bedingten energieäquivalenten Mittelungspegels der vergangenen Nacht auf die akute nächtliche Belästigung. Diese Reaktion war erheblich. Es gab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Langzeitbelästigung durch Fluglärm einerseits und der subjektiven Schlafqualität bzw. der akuten nächtlichen Belästigung andererseits. Die Faktoren „Lautstärkeempfinden in der Wohngegend“ und „Gewöhnung an Fluglärm“ wiederum hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die akute Belästigung.

Im Jahr 2001/2002 hat das DLR mit gleicher Polysomnografiemethodik eine Feldstudie mit 64 Probanden in je neun Nächten am Flughafen Köln/Bonn durchgeführt, einem Flughafen ohne Nachtflugbeschränkungen und mit Flugverkehr, der zu etwa zwei Dritteln mit älteren Frachtmaschinen abgewickelt wurde. Ergebnisse dieser Studie dienen bisher als Grundlage für die Berechnung des Frankfurter Nachtindexes FNI.

Die NORAH-Schlafstudie war nicht primär darauf ausgelegt, Vergleiche mit der Köln-Bonner-Studie vorzunehmen (so waren z.B. die Zubettgeh- und Aufstehzeiten in beiden Studien unterschiedlich; die Stichproben waren naturgemäß unterschiedlich trotz gleicher Kriterien bei der Probandenauswahl; Frachtflieger aus dem Jahr 2001/2002 unterscheiden sich unabhängig vom Maximalpegel auch im Frequenzspektrum deutlich von heutigen Passagiermaschinen; die polysomnografischen Aufzeichnungen wurden von unterschiedlichen Auswertern analysiert). Dennoch ergibt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse Sinn, um einen Flughafen mit Kernruhezeit (Frankfurt 2012) mit einem Flughafen ohne Kernruhezeit (Köln-Bonn 2001/2002) zu vergleichen. Aufgrund eines

Teildatenausfalls bei den NORAH-Messungen 2011 konnte nur die PSG aus dem Jahr 2012 zu diesem Vergleich herangezogen werden. Es zeigte sich, dass Schlafeffizienz, Gesamtschlafdauer und Tiefschlafdauer pro Gesamtschlafdauer am Flughafen Köln-Bonn statistisch signifikant verringert waren, die Einschlafzeit hingegen statistisch signifikant erhöht gegenüber der Erhebung am Flughafen Frankfurt im Jahr 2012. Rapid-Eye-Movement-(REM)-Schlafdauer und Wachdauer nach dem Einschlafen unterschieden sich in den beiden Studien nicht signifikant.

Die Wahrscheinlichkeit, durch ein Überflugeräusch mit gleichem Maximalpegel zu erwachen, war in der Köln-Bonner-Studie höher als in NORAH im Jahr 2012 - z.B. bei einem Maximalpegel von 45 dB(A) um 5 % höher.

Die Ergebnisse zeigen die positiven Wirkungen der Einführung der Kernruhezeit für den Schlaf der Anwohner am Frankfurter Flughafen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich aber auch schlussfolgern, dass die Expositions-Wirkungsbeziehung, die 2001/2002 am Flughafen Köln-Bonn erhoben wurde, nicht sicher auf den Flughafen Frankfurt mit Kernruhezeit übertragen werden kann. Unter der Annahme jedoch, dass die spontane Aufwachwahrscheinlichkeit am Flughafen Frankfurt niedriger lag als die am Flughafen Köln-Bonn ist der Unterschied in der lärminduzierten Aufwachwahrscheinlichkeit zwischen den Flughäfen gering. Bei dieser Aussage gilt es die oben gemachten Limitierungen zur Vergleichbarkeit der beiden Studien zu berücksichtigen.

Für beide Studien gilt, dass aus methodischen Gründen nur schlafgesunde erwachsene Probanden untersucht wurden, um die ermittelten Aufwachwahrscheinlichkeiten dem Fluglärm ursächlich zuordnen zu können. Damit ist aber auch eine Übertragbarkeit der Ergebnisse der Studie auf vulnerable Gruppen nur eingeschränkt möglich.

Die PSG ist eine in der Durchführung und Auswertung sehr personal- und kostenintensive Untersuchungsmethode, was geringe untersuchte Fallzahlen mit sich bringt. Im internationalen Vergleich polysomnografischer Feldstudien hatte die NORAH-Studie jedoch die bisher höchste Anzahl an Probanden. Um darüber hinaus höhere Fallzahlen bei nicht weiter steigendem Aufwand und Budget realisieren zu können, muss notwendigerweise ein Informationsverlust bei der Messung des Schlafes in Kauf genommen werden. Deshalb hat das DLR zusammen mit der University of Pennsylvania (UPenn) mit den Polysomnografiedaten aus den Jahren 2011 und 2012 eine Methode weiterentwickelt, die mit ausschließlicher Messung des Elektrokardiogramms (EKG) und der Körperbewegungen versucht, fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen (die größtmögliche Störung des Schlafs) abzubilden. Diese vegetativ-motorische Methode (VMM) hat den Vorteil, dass im Gegensatz zur PSG, nicht jeden Abend und jeden Morgen ein Untersucher beim Probanden vor Ort sein muss, sondern der Proband das Equipment selbst anlegen kann. Zudem kann eine Auswertung der Daten vollautomatisch durchgeführt werden.

Das für die VMM optimierte Auswertungsmodell zeigt, dass ähnlich wie auch beim mit Hilfe der Polysomnografiedaten berechneten Modell für die Aufwachwahrscheinlichkeit, die Wahrscheinlichkeit einer vegetativ-motorischen Reaktion in Abhängigkeit von

zunehmendem Maximalschalldruckpegel  $L_{ASmax}$  von Überfliegergeräuschen und der verstrichenen Schlafdauer nichtlinear ansteigt. Dennoch sind beide Expositions-Wirkungskurven nicht gleich, sondern die Wahrscheinlichkeiten für eine vegetativ-motorische Reaktion bei gleichem Maximalpegel eines Überfliegergeräusches liegen höher als die Aufwachwahrscheinlichkeiten. Es gibt mehrere plausible Erklärungen hierfür. So detektiert die Methode manchmal auch kürzere Aktivierungen im EEG, die nicht als Aufwachreaktionen klassifiziert werden, aber dennoch physiologische Bedeutung für die Schlaferholung haben können. Die Sensitivität der VMM ist somit höher als bei der Detektion von Aufwachreaktionen in der PSG. Des Weiteren werden fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen im Modell nur dann berücksichtigt, wenn der Proband sich vorher in einem Schlafstadium befand und nicht schon wach war. Diese Unterscheidung kann bei der VMM nicht mehr getroffen werden, womit auch Reaktionen in die Analyse eingehen, die in einer Wachphase aufgetreten sind. Zudem sind Herzfrequenzbeschleunigungen und kurzzeitige Aktivierungen der Muskulatur typisch für den REM-Schlaf, in dem weitgehend der Traumschlaf stattfindet. Auch diese Reaktionen gehen zusätzlich in die Analyse der VMM mit ein. Während hingegen die Wahrscheinlichkeit einer vegetativ-motorischen Reaktion mit zunehmendem Alter abnahm, hatte das Alter keinen signifikanten Effekt auf die Aufwachwahrscheinlichkeit. Berücksichtigt man diese Effekte bei der Berechnung der Expositions-Wirkungskurven für das Jahr 2012, in dem sämtliche Informationen für beide Methoden vollständig vorliegen, so nähern sich die Expositions-Wirkungskurven stark an.

Die entwickelte VM-Methode ist somit geeignet, vegetativ-motorische Körperreaktionen im Schlaf aufgrund von Fluglärmexposition zu beschreiben. Sie erlaubt im Gegensatz zur PSG durch die mögliche automatisierte Auswertung eine auswerterunabhängige Analyse der Daten. Dadurch, dass die Methode Herzfrequenzbeschleunigungen misst, bildet sie möglicherweise einen Mechanismus ab, der für Herz-Kreislaufkrankungen ursächlich verantwortlich sein könnte, die nach langjähriger nächtlicher Lärmexposition entstehen können. Die VM-Methode kann allerdings keine Ergebnisse zur Änderung der Schlafstruktur (z.B. Schlafstadienverteilung) liefern und auch fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen nicht exakt nachbilden, so wie es mit der Polysomnografiemethode möglich ist. Grundsätzlich kann man erwarten, dass die Beteiligungsraten von Anwohnern bei mit der VM-Methode durchgeführten Feldstudien aufgrund der geringeren Invasivität höher sind.