



Flechten und Luftqualität im Kanton Zug: Aktualisierte Luftgütekarten 2003 und 2013

im Auftrag des Amtes für Umwelt des Kantons Zug

20. Dezember 2019

in Zusammenarbeit mit:
AGB, Dr. R. Herzig, 3013 Bern

Umweltberatung

Dr. Martin Urech
Mühlemattstrasse 45
CH-3007 Bern
Tel. +41 (0)31 372 20 28
Fax +41 (0)31 371 90 46
info@pulsbern.ch
www.pulsbern.ch

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	3
1	Einleitung und Ziel.....	4
2	Vorgehen	5
3	Luftgütekarten	6
3.1	Flechtenindex Primärschadstoffe	6
3.2	Flechtenindex Ammoniak	11
3.3	Flechtenindex Ozon.....	16
4	Fazit.....	21

Impressum

Auftraggeber: Amt für Umwelt Kanton Zug, Aabachstrasse 5, 6300 Zug,
Astrid Furrer, Peter Stofer

Auftragnehmer: puls Umweltberatung, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern
Martin Urech, Nora Rychen

in Zusammenarbeit mit: AGB, Dr. R. Herzig, 3013 Bern

Zusammenfassung

Im Kanton Zug wurden 1993, 2003 und 2013 Flechtenuntersuchungen zur Luftqualität durchgeführt. In den letzten Jahren wurde die dazu verwendete Flechtenindikationsmethode im Auftrag mehrerer Kantone neu kalibriert. Es resultierten drei neue auf einzelne Immissionskomponenten (Primärschadstoffe, Ammoniak und Ozon) kalibrierte Flechtenindices, welche eine hohe Übereinstimmung zu modellierten Immissionsdaten zeigen.

Für die Flechtenerhebungen 2003 und 2013 wurden aktualisierte Flechtenkarten erstellt. Es resultierten insgesamt 9 Karten: für Primärschadstoffe, Ammoniak und Ozon je eine Flechtenkarte 2003, 2013 und eine Differenzkarte 2003 bis 2013. Die Flechtenkarten weisen neun Zonen unterschiedlicher Belastungen der Schadstoffe aus, die Differenzkarte unterscheidet sieben Zonen der Belastungsveränderung.

Die Flechtenkarten zeigen für alle drei Schadstoffe (resp. Schadstoffgruppe) eine Verbesserung der Luftqualität von 2003 nach 2013 an. Bei den Primärschadstoffen und Ozon ist die Abnahme grösser als beim Ammoniak. Diese Abnahmen werden auch durch die punktuellen technischen Messungen (an den Stationen Zug, Zugerberg und Frauenthal) bestätigt: Auch diese zeigen sinkende Schadstoffbelastungen in der Untersuchungsperiode.

Diese Verbesserungen der Luftqualität sind die positiven Folgen der in den letzten Jahrzehnten getroffenen Massnahmen. Offensichtlich bewährt sich die Flechtenindikation als Instrument der lufthygienischen Erfolgskontrolle. Zusätzlich könnten die ältesten Flechtenerhebungen von 1993 ebenfalls mit der neu kalibrierten Flechtenindikationsmethode ausgewertet werden, die Erfolgskontrolle würde dadurch auf eine Zeitspanne von 20 Jahren (1993 bis 2013) erweitert.

Auch zukünftig kann die Entwicklung der Luftbelastung anhand der Flechtenuntersuchung verfolgt werden. Aufgrund des bisherigen Zehnjahres-Rhythmus bietet sich eine nächste Erhebung der Flechtendaten im 2023 an.

Die Flechtenindikationsmethode macht die Luftbelastung sichtbar und erfasst diese flächendeckend über ein grösseres Gebiet. Sie zeigt die Wirkung der Belastungen an und ist damit näher beim Menschen als technische Messungen. Aus diesen Gründen ist die Flechtenindikationsmethode neben der Erfolgskontrolle auch gut für die Öffentlichkeitsarbeit geeignet.

1. Einleitung und Ziel

Im Kanton Zug wurden 1993, 2003 und 2013 Flechtenuntersuchungen zur Luftqualität durchgeführt¹. Hauptresultat dieser Untersuchungen sind Flechten-Luftgütekarten. Diese basierten bisher auf dem Flechtenluftgütewert IAP18, welcher vor 30 Jahren mit technischen Immissionsmessungen kalibriert wurde.

Aufgrund von Sanierungsmassnahmen hat sich die Luftqualität in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert und die Zusammensetzung der Luftschadstoffe stark gewandelt. Deshalb wurde die Flechtenindikationsmethode im Auftrag mehrerer Kantone neu kalibriert². Es resultierten drei neue auf einzelne Immissionskomponenten kalibrierte Flechtenindices:

- Primärschadstoff-Flechtenindex PS-FI
- Ammoniak-Flechtenindex NH3-FI
- Ozon-Flechtenindex O3-FI

Diese Flechtenindices zeigen eine hohe Übereinstimmung zu modellierten Immissionsdaten. Neben gesamtschweizerischen Indices wurden auch regionalisierte Flechtenindices gebildet, welche eine noch höhere Übereinstimmung zu den Immissionsdaten zeigten. So gelangen im Kanton Zug die regionalisierten Indices für die Zentralschweiz zur Anwendung. Die resultierenden Flechtenkarten können direkt mit denjenigen aus den Kantonen Uri, Schwyz und Nidwalden verglichen werden.

Die Methode der Flechtendatenerhebung bleibt bei der Anwendung der neuen Flechtenindices unverändert. So können zukünftige Untersuchungen direkt mit den bisherigen Flechtenuntersuchungen verglichen werden. Zudem können die bisherigen Flechtenuntersuchungen bezüglich den neuen Flechtenindices ausgewertet und Luftgütekarten mit den neuen Flechtenindices erstellt werden.

Dies ist denn auch das Ziel des Projektes: Basierend auf den Flechtendaten der Erhebungen 2003 und 2013 werden aktualisierte Flechtenkarten mit den drei neuen Flechtenindices erstellt. Für jeden Index werden drei Karten erstellt:

- Flechten-Luftgütekarte 2003
- Flechten-Luftgütekarte 2013
- Differenzkarte 2003-2013

Diese Karten dienen der lufthygienischen Erfolgskontrolle und als Grundlage für die Öffentlichkeitsarbeit.

¹ puls 2014: Flechten und Luftqualität im Kanton Zug: Wirkungskontrolle 2013. Amt für Umweltschutz Kanton Zug. 64 S.

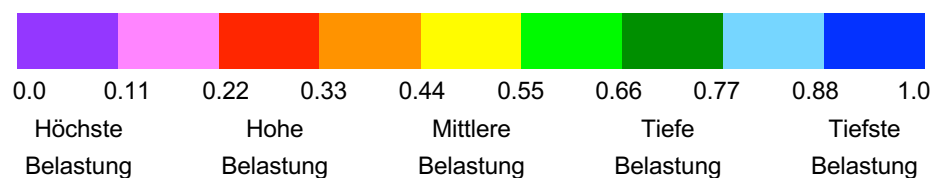
² AGB, puls, Swiss TPH, 2018: Rekalibration der Flechtenindikationsmethode: Management Summary, 9 S.

2. Vorgehen

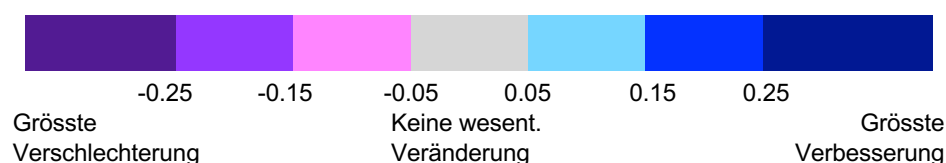
Die Auswertungen basieren auf den Flechtendaten, wie sie in den Jahren 2003 und 2013 an jeweils über 250 Bäumen erhoben wurden. Wie bei den damaligen Auswertungen werden die **Flechtenwerte** der einzelnen Bäume in Gruppen von in der Regel fünf Bäumen zu einem Mittelwert verrechnet. Die Baumgruppen wurden innerhalb von geographisch einheitlichen Räumen, sogenannten **Georäumen**, gebildet. Durch die ähnlichen geographischen Bedingungen innerhalb eines Georaums darf dort mit derselben Wirkung der Gesamtluftbelastung auf die Flechten gerechnet werden. Für das untersuchte Gebiet ergaben sich 59 Georäume.

Neu gegenüber den früheren Auswertungen ist die Berechnung der Flechtenwerte: Anstelle des einen Flechtenwertes IAP18 werden die **drei Flechtenindices** Primärschadstoff-Flechtenindex PS-FI, Ammoniak-Flechtenindex NH3-FI und Ozon-Flechtenindex O3-FI berechnet. Die Werte unterscheiden sich in der Gewichtung der einzelnen Flechtenarten und sind für den jeweiligen Schadstoff kalibriert (siehe Kapitel 1).

Zudem sind die Flechtenwerte so konzipiert, dass Werte zwischen 0 und 1 resultieren. Dieser Wertebereich wird in den Karten durch 9 Zonen mit identischer Zonenbreite von 0.11 dargestellt:



Zur Darstellung der Belastungsveränderung wird aus den Flechtenwerten 2003 und 2013 die Differenz berechnet, wiederum pro Georaum. Per Definition können so Werte zwischen -1.0 und +1.0 entstehen. In der Realität liegen die Werte zwischen etwa -0.3 und +0.3. Wie schon in den früheren Auswertungen wird um den Wert Null eine Zone «keine wesentliche Veränderung» definiert. Die Zonenbreite in der Differenzkarte beträgt 0.1; so weist die Differenzkarte folgende sieben Zonen auf:



In der Karte werden die Grenzen zwischen den einzelnen Zonen durch lineare Interpolation zwischen den Georaumwerten hergeleitet. In einem ersten Schritt wird dazu eine automatische Isolinienberechnung mit der Software R (Pakete akima und XLConnect) vorgenommen. Anschliessend werden diese Isolinien im GIS händisch optimiert: Kleinstflächen wurden weggelassen und der Linienverlauf vereinfacht und geglättet.

3. Luftgütekarten

3.1 Flechtenindex Primärschadstoffe

Der Primärschadstoff-Flechtenindex basiert auf den drei Primärschadstoffen SO_2 , NO_2 und PM_{10} .

3.1.1 Karte Primärschadstoffe 2003

Die Karte der Primärschadstoffbelastung 2003 (Abb. 1) reicht von einer tiefen (dunkelgrüne Zone) bis zu einer hohen Belastung (rote Zone), wobei die hohe Belastung etwa die Hälfte der gesamten Fläche ausmacht. Die tiefe Luftbelastung (grün) liegt auf dem Zugerberg. Vier kleinere Flächen weisen eine mittlere Belastung (gelb) auf (westlich, südlich und östlich von Hünenberg sowie am Zugerberg). Das übrige Gebiet zeigt eine hohe Belastung und ist auf der Karte orange und rot eingefärbt.

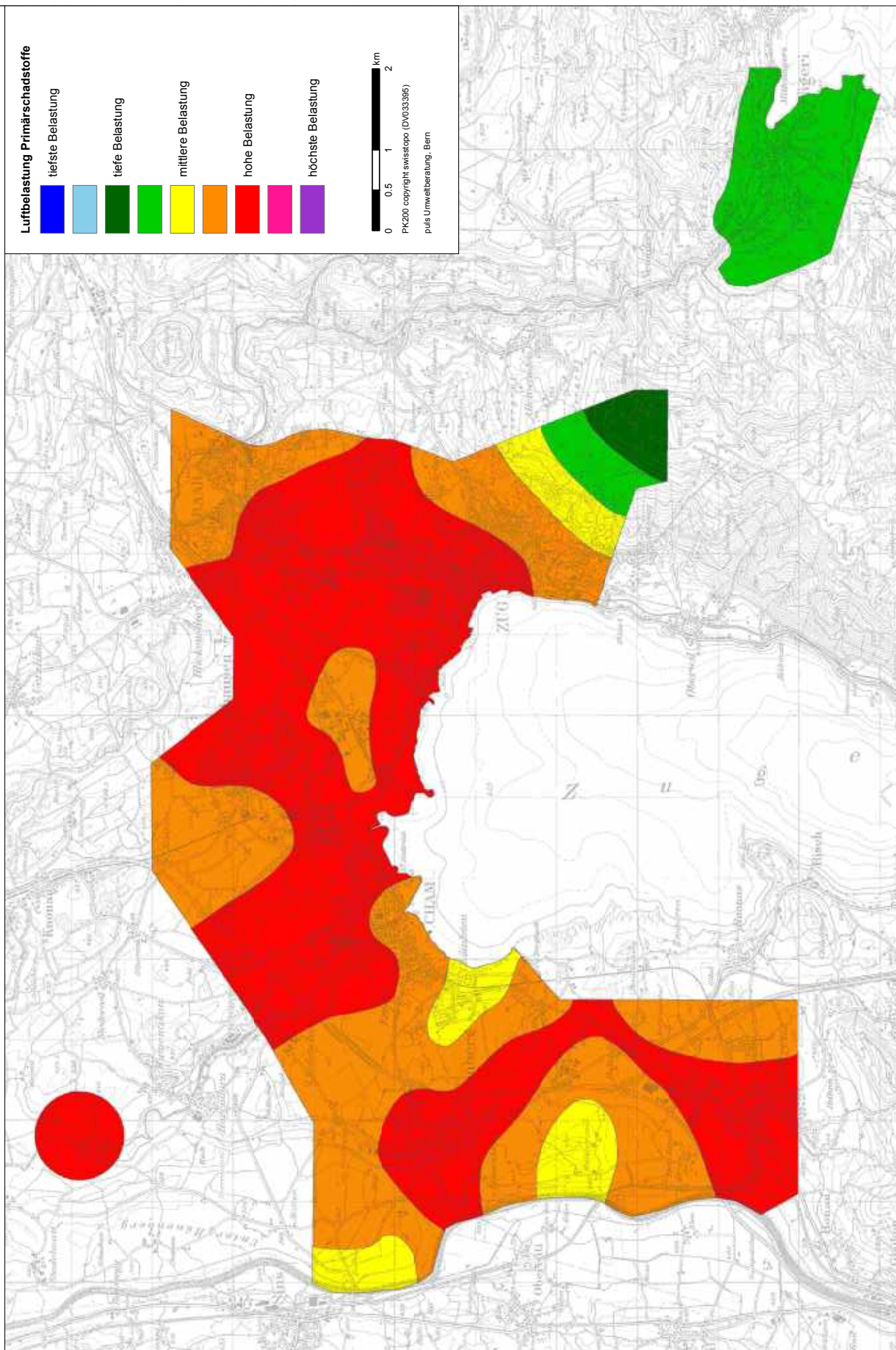
3.1.2 Karte Primärschadstoffe 2013

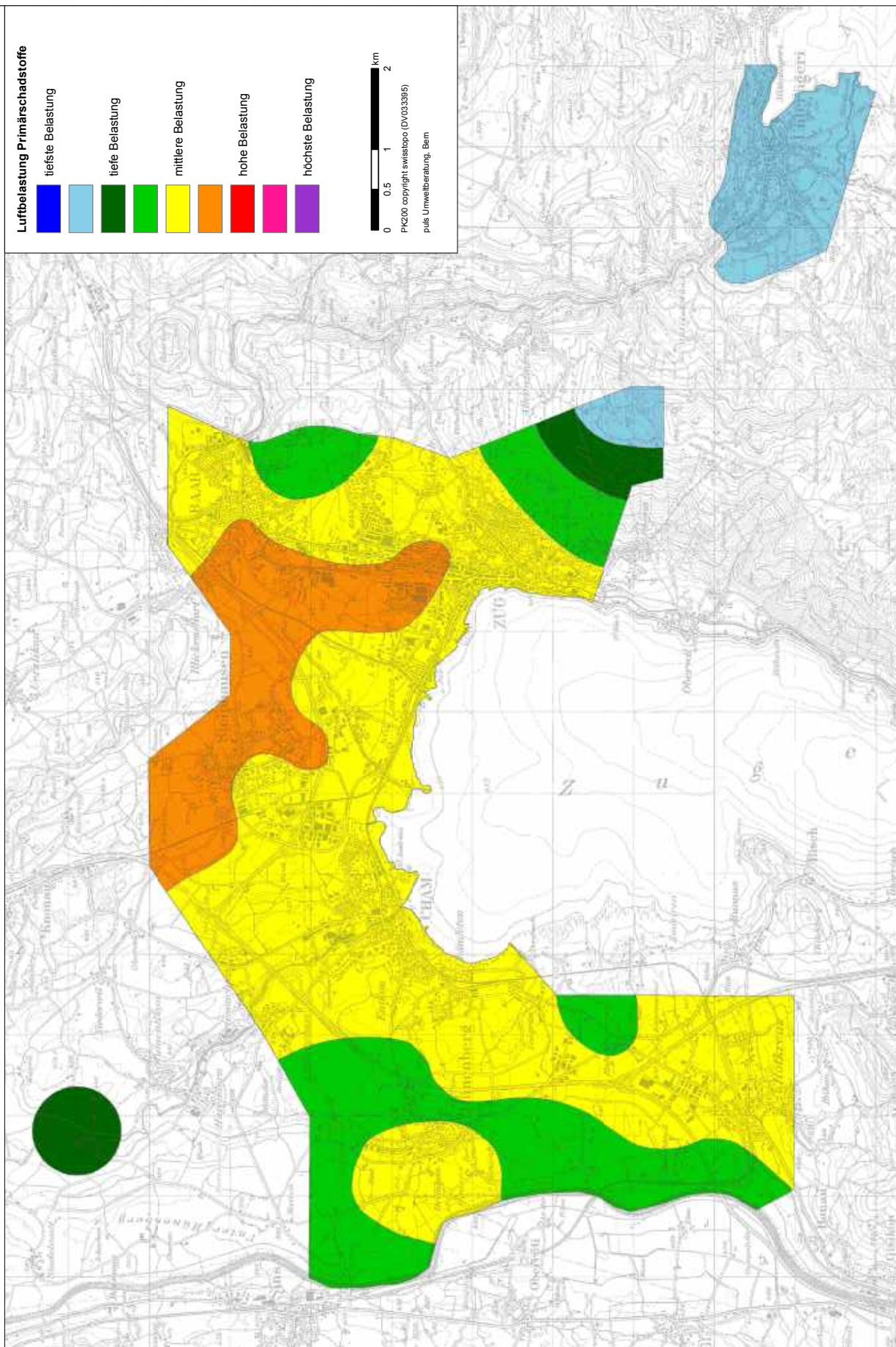
Die Belastung der Primärschadstoffe 2013 (Abb. 2) reicht von orange bis hellblau und zeigt somit eine klare Verbesserung auf gegenüber 2003. Dominant ist nun die gelbe Farbe, welche eine mittlere Luftbelastung anzeigt. Der Zugerberg und Unterägeri weisen eine sehr tiefe Belastung auf (hellblau). Die schlechtesten Werte befinden sich im Gebiet zwischen Steinhäusen und Baar mit einem Ausläufer bis ins Zentrum von Zug und sind orange eingefärbt.

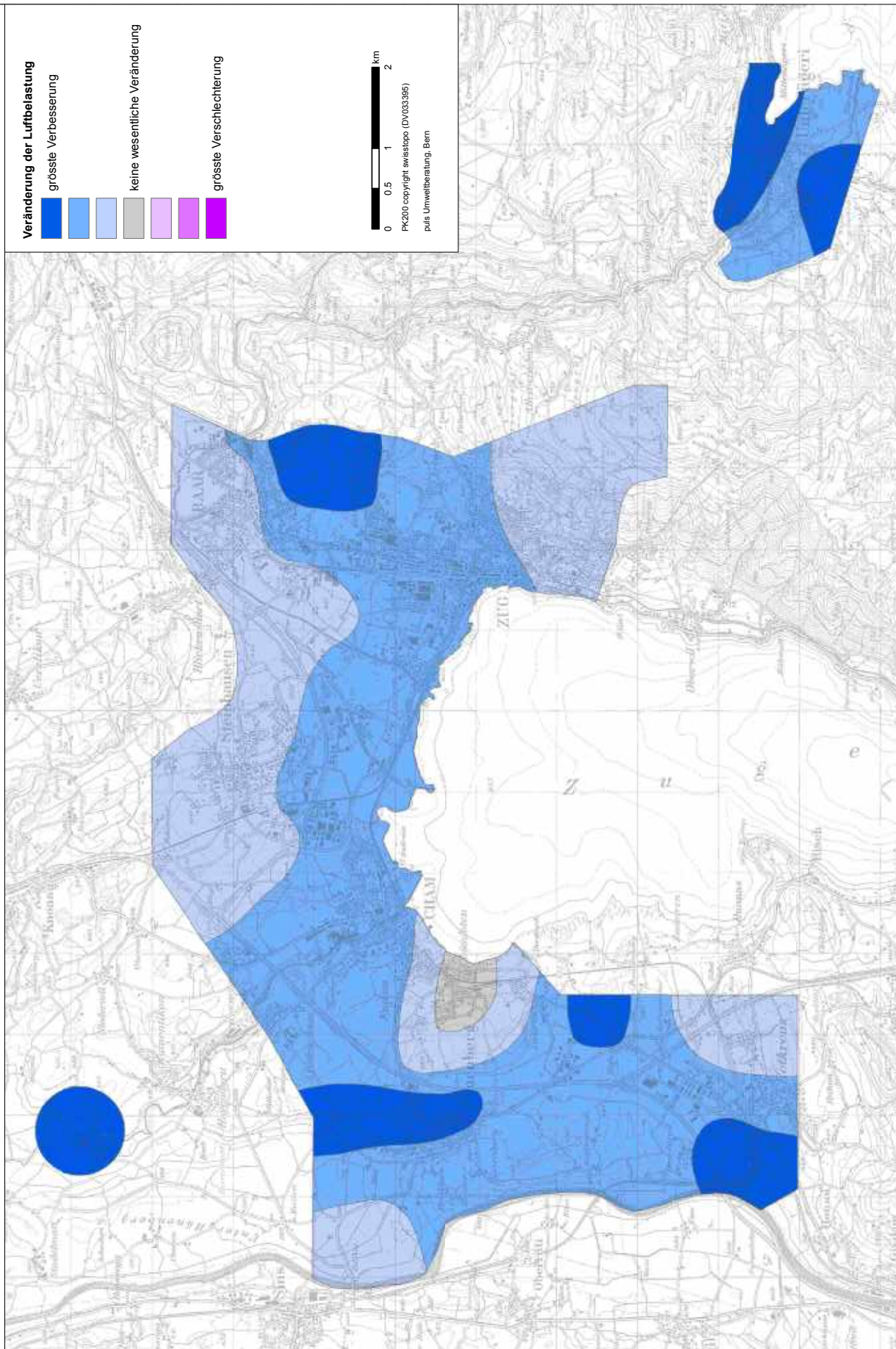
Die beiden etwas ausserhalb liegenden Gebiete Raten und nordöstlich von Menzingen, welche 2013 zusätzlich kartiert wurden und ausserhalb des Kartenperimeters liegen, weisen tiefe bis sehr tiefe Belastungen auf: dunkelgrün in der Gegend von Menzingen und hellblau in Raten.

3.1.3 Differenzkarte Primärschadstoffe 2003 - 2013

Die Primärschadstoffbelastung hat sich in den zehn Jahren von 2003 bis 2013 wesentlich verbessert, die Karte wird von blauen Zonen dominiert (Abb. 3). Einzig eine kleine Fläche am See in Hünenberg weist auch nach zehn Jahren noch eine mittlere Belastung auf und hat somit keine wesentliche Veränderung zu verzeichnen (graue Zone). Dunkelblaue Zonen mit besonders grosser Verbesserung finden sich in Frauenthal, Hünenberg, Holzhäusern, Rotkreuz, Inwil und Unterägeri.







3.1.4 Vergleich Luftgütwerte Primärschadstoffe

Die Differenzkarte der Primärschadstoffe (NO_2 , SO_2 und PM_{10}) zeigt von 2003 bis 2013 für das Untersuchungsgebiet eine Verbesserung der Luftqualität an: Die Flechtenwerte stiegen durchschnittlich von 0.38 im 2003 auf 0.55 im 2013. Dieser Anstieg um 0.17 Wertepunkte entspricht einer mittleren Verbesserung (mittelblau in der Flechtenkarte).

Dieser Anstieg wird auch durch kontinuierliche technische Messungen bestätigt. Als Referenz für das Untersuchungsgebiet kann die Messstation am Postplatz in Zug verwendet werden. An dieser Station weist NO_2 nur eine minimale Verbesserungstendenz auf (Abb. 4), bei der PM_{10} -Immission ist aber eine deutliche Abnahme der Luftbelastung erkennbar (Abb. 5). Schwefeldioxid-Messungen werden im Untersuchungsgebiet keine mehr vorgenommen, da sich diese auf einem sehr tiefen Niveau deutlich unterhalb des Grenzwertes eingependelt haben.

Abb. 4:
Jahresmittelwerte
von NO_2

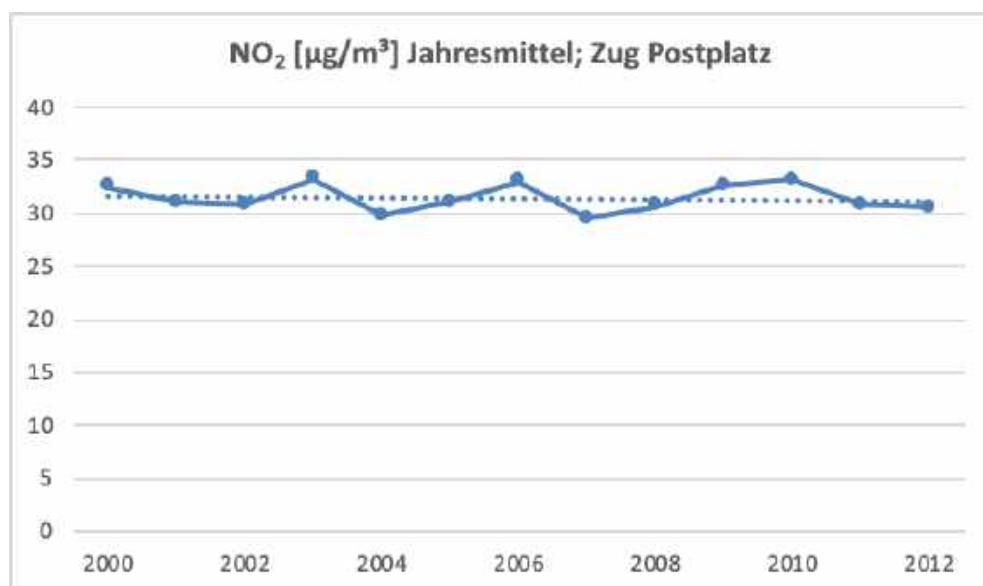
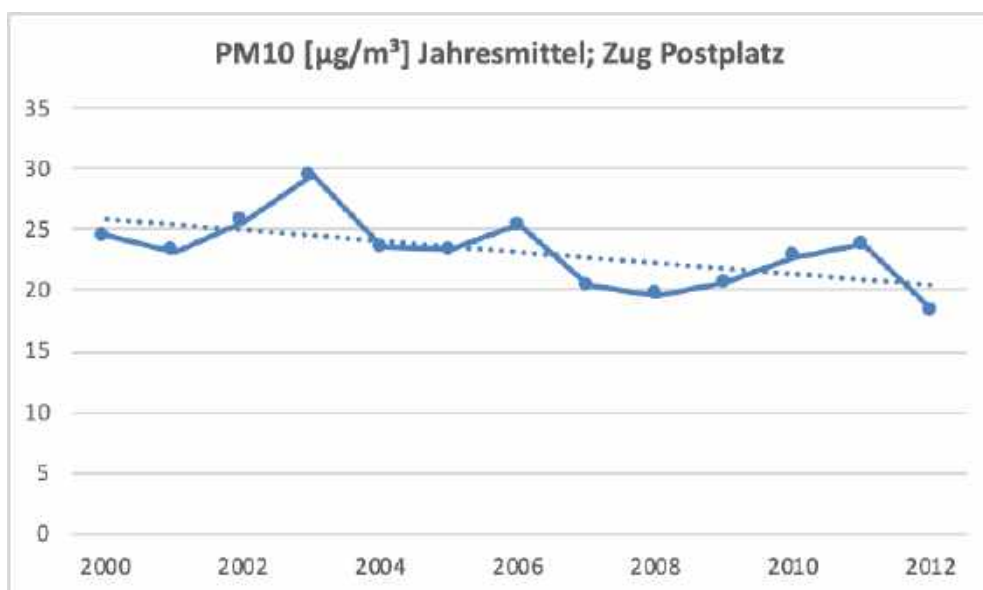


Abb. 5:
Jahresmittelwerte
von PM_{10}



3.2 Flechtenindex Ammoniak

3.2.1 Karte Ammoniak 2003

Im zentralen und westlichen Teil des Untersuchungsgebiets ist die Ammoniak-Belastung 2003 hoch, die Karte wird von der roten und orangen Zone dominiert (Abb. 6). Nur die Stadt Zug, der Zugerberg und der westliche Teil von Unterägeri sind mittel (gelb) bis wenig (hellgrün) belastet. Im westlichen Teil (Cham-Hünenberg-Rotkreuz) ist die Belastung durchschnittlich höher (rote Zone) als im östlichen Gebiet um Steinhausen und Baar (orange Zone).

3.2.2 Karte Ammoniak 2013

Die Ammoniakbelastung ist 2013 nur wenig tiefer als 2003, sie ist in grossen Teilen des Untersuchungsgebiets immer noch mehrheitlich hoch (rote und orange Zonen, Abb. 7). Grössere Gebiete gehören nun zur mittleren Belastung (gelbe Zone), dazu zählen Unterägeri und die Fläche rund um Zug. Das Stadtzentrum von Zug weist jetzt eine eher hohe Belastung auf (orange Zone). Eine tiefe Belastung ist nur am Zugerberg anzutreffen.

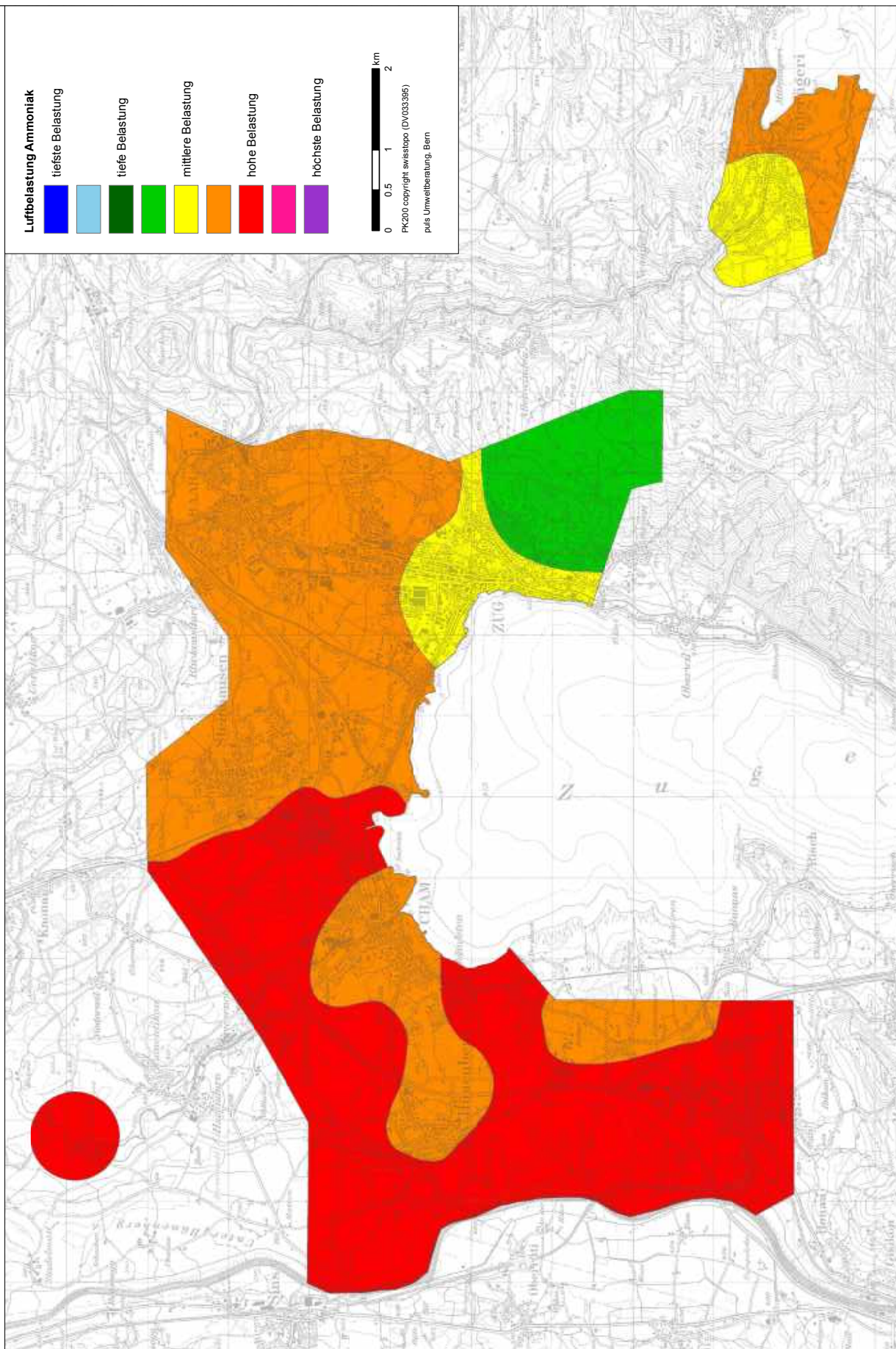
Die beiden etwas ausserhalb liegenden Gebiete Raten und nordöstlich von Menzingen, welche 2013 zusätzlich kartiert wurden und ausserhalb des Kartenperimeters liegen, weisen unterschiedliche Ammoniak-Belastungen auf: Raten hat eine sehr tiefe Belastung (hellblau) und Menzingen liegt in der mittleren Belastungszone (gelb).

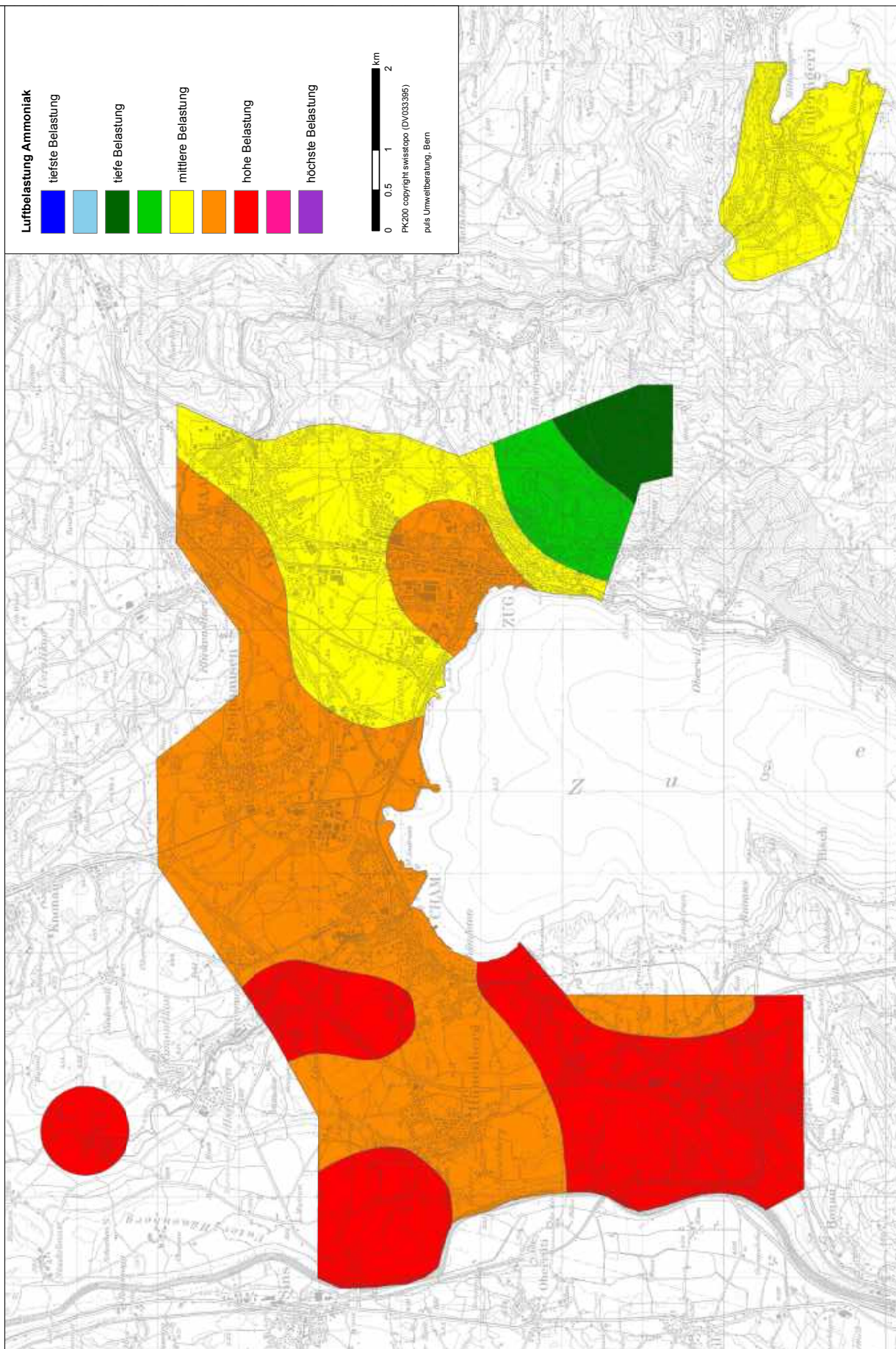
3.2.3 Differenzkarte Ammoniak 2003 - 2013

Die Ammoniak-Differenzkarte (Abb. 8) zeigt für den Zeitraum von 2003 bis 2013 keine (grau) bis eine geringe (hellblau) Verbesserung an. Zu den Gebieten mit einer leichten (hellblau) Verbesserung zählen die Gebiete südwestlich und nordöstlich von Hünenberg, zwischen Cham und Steinhausen, zwischen Zug und Baar, am Zugerberg und in Unterägeri. Einzig das Zuger Stadtzentrum weist eine Verschlechterung auf (lila). In vielen Teilen des Untersuchungsgebiets gab es keine wesentliche Veränderung der Ammoniak-Belastung (grau).

Flechtenindex Ammoniak 2003

Abb. 6



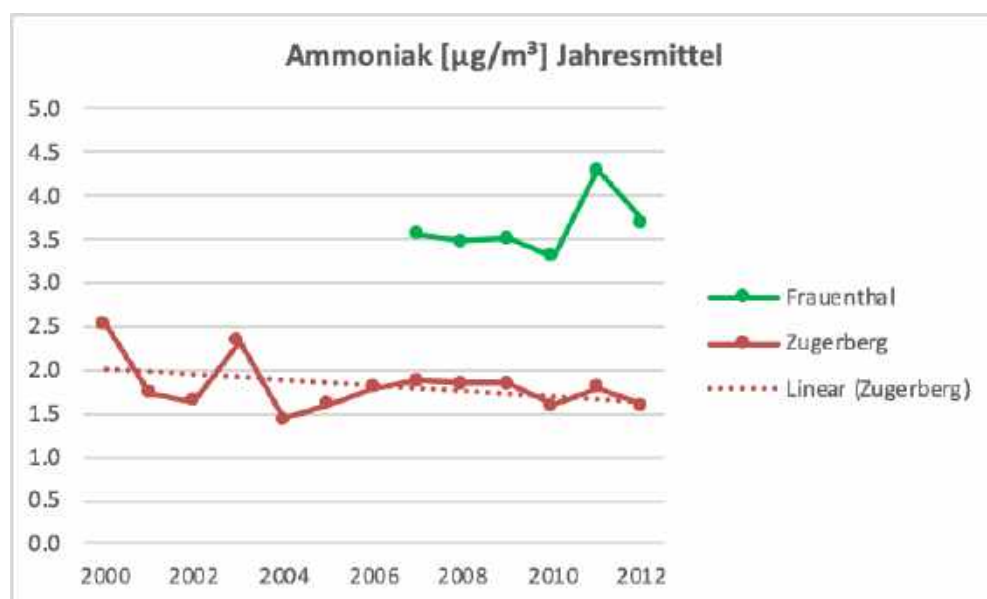


3.2.4 Vergleich Luftgütewerte Ammoniak

Der durchschnittliche Ammoniak-Flechtenindexwert für das gesamte Untersuchungsgebiet hat sich nur geringfügig verändert: Im Jahr 2003 betrug der Wert 0.38, im 2013 erreichte er 0.42 Wertepunkte. In der Tendenz zeigt sich eine leichte Verbesserung (um 0.04 Punkten), diese Differenz entspricht in der Darstellung der Belastungsveränderung der Zone «keine wesentliche Veränderung» (grau).

Für Ammoniak liegen technische Messungen an den Messstationen Zugerberg und Frauenthal vor (Abb. 9). Am Zugerberg hat die Ammoniak-Belastung leicht abgenommen. Diese Abnahme der Ammoniak-Belastung ist auch auf den Karten erkennbar: von 2003 bis 2013 ist die Belastung von gering (hellgrün) auf tief (dunkelgrün) gesunken. Seit 2007 werden zusätzlich Messungen in Frauenthal gemacht, welche im Schnitt deutlich höher ausfallen als diejenigen auf dem Zugerberg und für landwirtschaftlich geprägte tiefere Lagen repräsentativ sind. Die hohen Messwerte in Frauenthal werden durch die Ammoniak-Flechtenkarten bestätigt: 2003 und 2013 wurde eine hohe Belastung festgestellt.

Abb. 9:
Jahresmittelwerte
von Ammoniak



3.3 Flechtenindex Ozon

Die Belastung durch Ozon wird durch den Wert AOT40 charakterisiert. AOT40 ist ein für Vegetation relevanter Dosiswert der Ozonbelastung, ausgedrückt als die kumulierte Ozonbelastung oberhalb des Grenzwertes von 40ppb.

3.3.1 Karte Luftbelastung Ozon 2003

Die Karte für 2003 weist für das Untersuchungsgebiet fünf Zonen aus (Abb. 10). Diese reichen von einer leichten Belastung (hellgrün) bis zu einer sehr hohen Ozonbelastung (pink). Die am stärksten belasteten Gebiete (pink und rot) sind der Zugerberg und Unterägeri. Im Gegensatz dazu gibt es drei Flächen mit einer leichten Belastung (hellgrün): bei Hünenberg, bei Cham sowie westlich und nördlich von Zug. Dominant ist jedoch die mittlere Belastung (gelb), welche grosse Teile des Untersuchungsgebietes einnimmt.

3.3.2 Karte Luftbelastung Ozon 2013

Die Karte für 2013 (Abb. 11) wird durch tiefe Belastungen charakterisiert (grüne Zonen). Nur noch rund um Unterägeri wird eine hohe Belastung (rot) festgestellt. Unterägeri selbst und der Zugerberg sind etwas weniger stark belastet (orange). Inwil und der Hang des Zugerberges weisen je eine mittlere Belastung (gelb) auf.

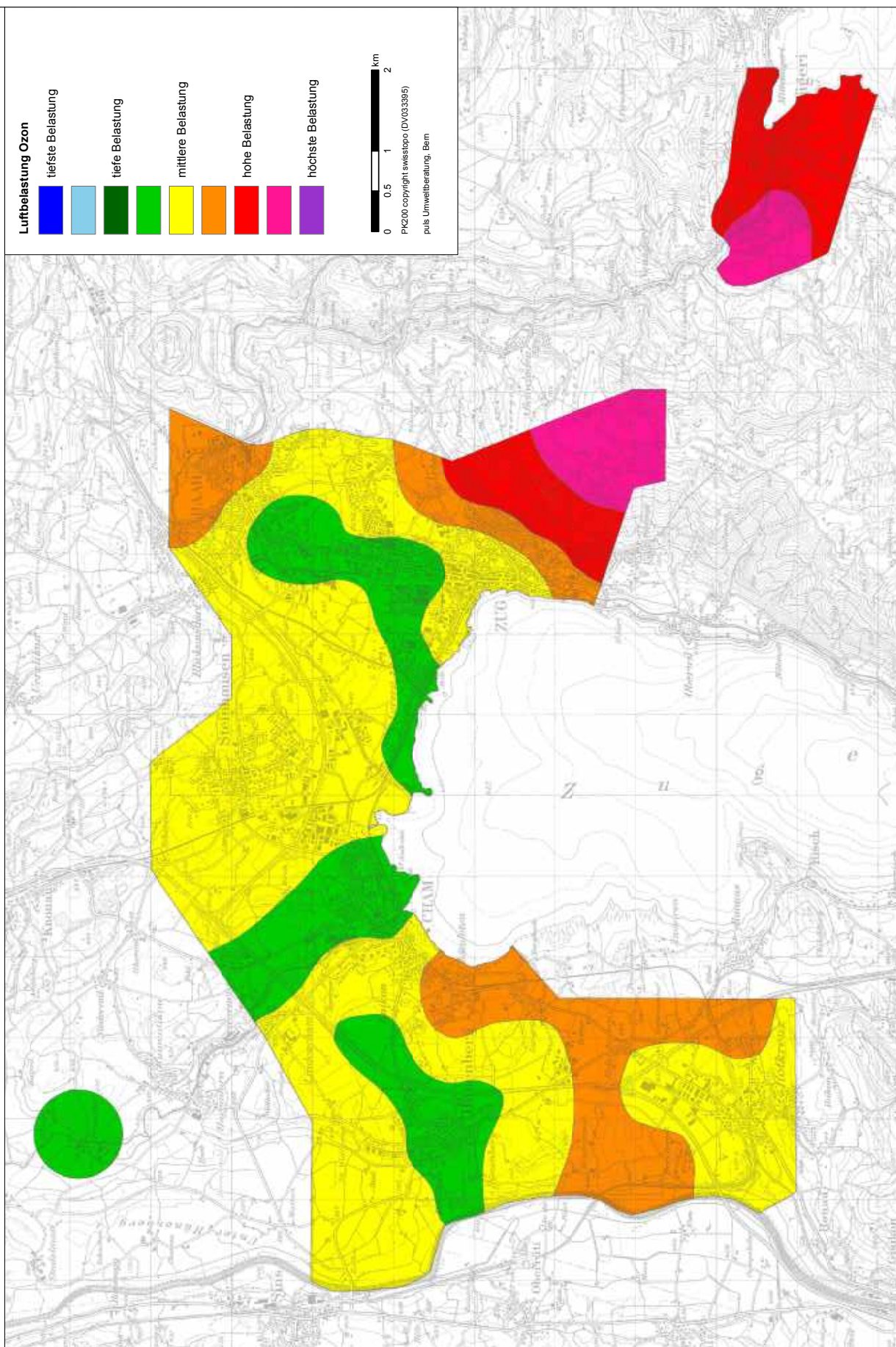
Die beiden etwas ausserhalb liegenden Gebiete Raten und nordöstlich von Menzingen, welche 2013 zusätzlich kartiert wurden und ausserhalb des Kartenperimeters liegen, sind beide hoch belastet (rot).

3.3.3 Differenzkarte Ozon 2003 - 2013

Die Ozonbelastung hat sich zwischen 2003 und 2013 (Abb. 12) deutlich verbessert, die Differenzkarte zeigt überall eine Abnahme der Ozonbelastung an (blaue Zonen). Ausnahme bildet nur eine kleine Insel nördlich von Zug, hier ist die Belastung unverändert (graue Zone). Flächen mit grösster Verbesserung (dunkelblau) liegen östlich von Rotkreuz, westlich von Steinhausen West und am Zugerberg.

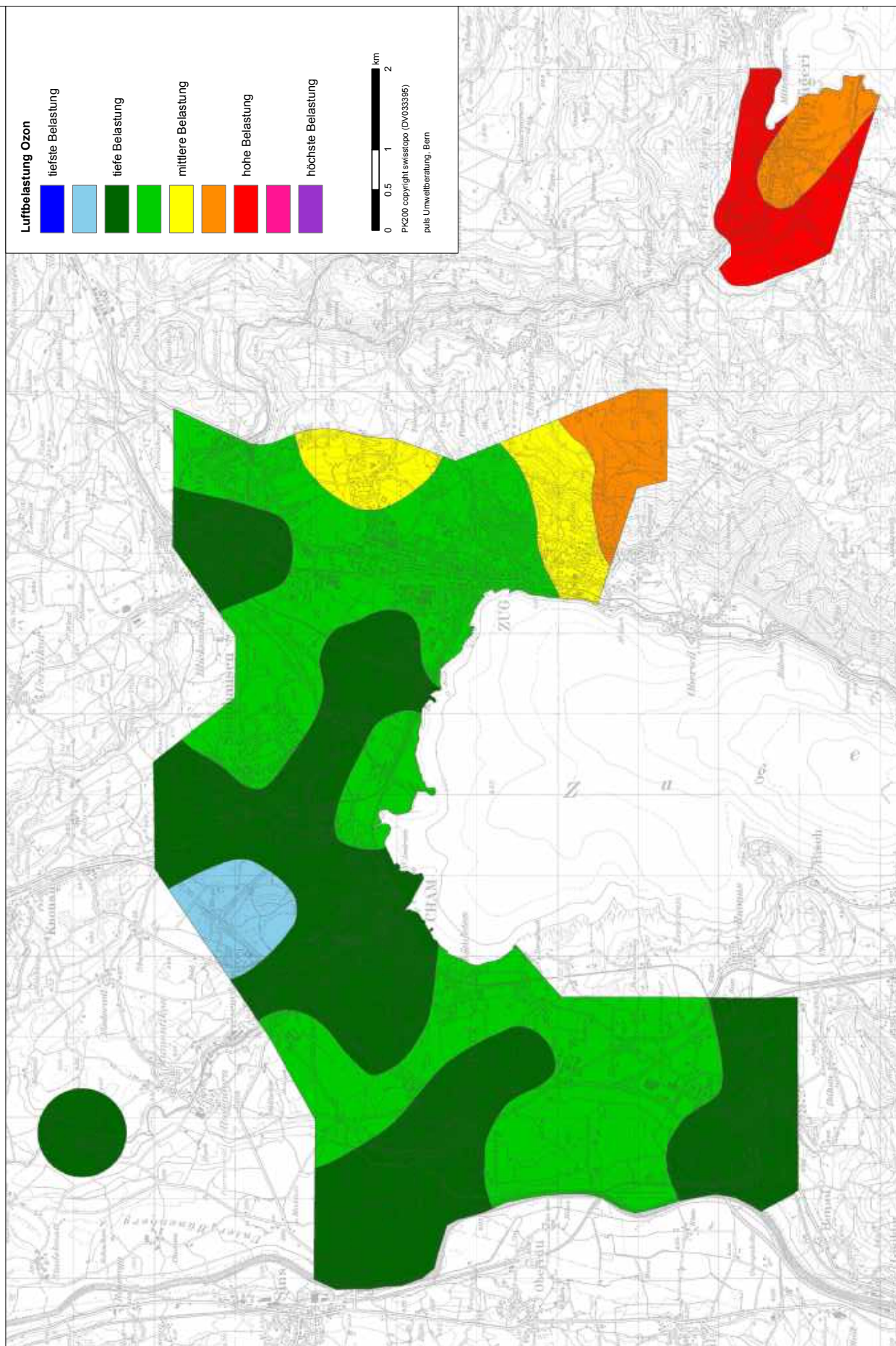
Flechtenindex Ozon 2003

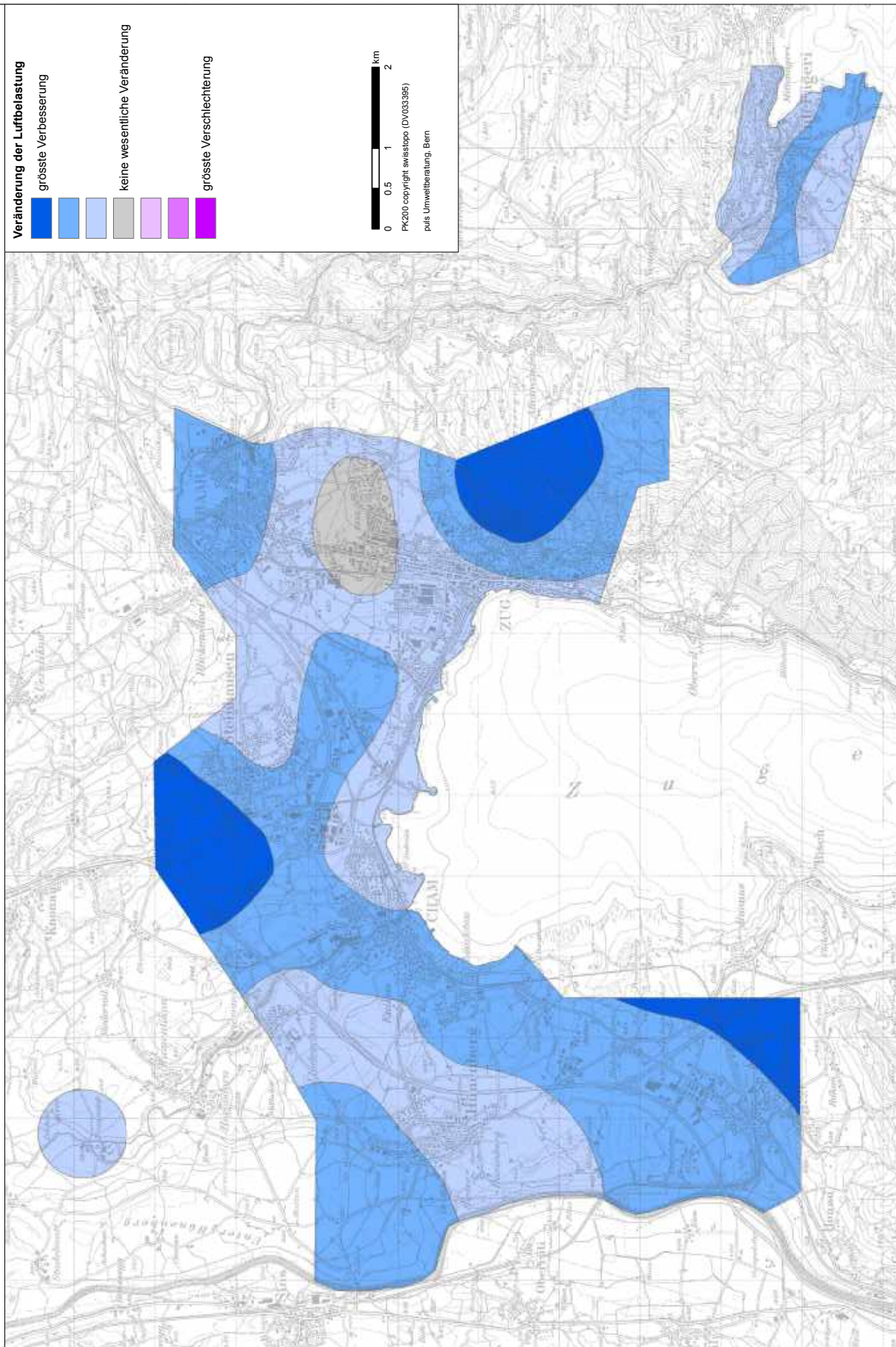
Abb. 10



Flechtenindex Ozon 2013

Abb. 11



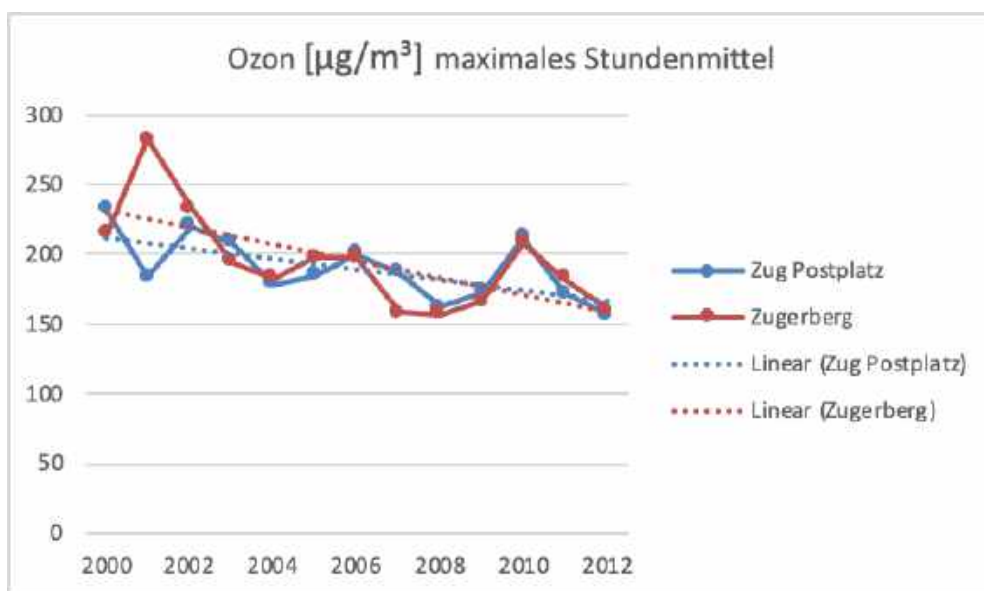


3.3.4 Vergleich Luftgütewerte Ozon

Die Differenzkarte Ozon zeigt eine Verbesserung der Luftqualität an: Der durchschnittliche Flechtenwert steigt zwischen 2003 und 2013 um 0.16 Wertepunkte (2003: 0.46 und 2013: 0.62), was einer grossen Verbesserung (mittelblaue Zone) entspricht.

Abbildung 13 zeigt die technischen Messungen für Ozon am Postplatz in Zug und auf dem Zugerberg für die Zeitspanne von 2000 bis 2012. Bezüglich dem Belastungstrend stimmen diese Messungen gut mit den Flechtenwerten zur Ozonbelastung überein: An beiden Standorten haben die gemessenen maximalen Stundenmittel deutlich abgenommen. Hingegen zeigen die technischen Messungen (max. Stundenmittelwerte) keinen Unterschied in der Ozonbelastung der beiden Standorte, während in den Flechtenkarten (kalibriert mit AOT40) für den Zugerberg eine höhere Belastung ausweisen als für das Zentrum von Zug.

Abb. 13:
Maximales Stundenmittel von Ozon



4. Fazit

Alle drei Flechten-Differenzkarten (Primärschadstoffe, Ammoniak und Ozon) zeigen von 2003 bis 2013 im Untersuchungsgebiet eine Verbesserung der Luftqualität an. Diese Verbesserung der Luftqualität wird durch technische Messungen bestätigt, auch diese zeigen für die Untersuchungsperiode sinkende Luftbelastungen. Für diesen Vergleich konnten kontinuierliche Luftmessungen am Postplatz in Zug (Primärschadstoffe und Ozon) sowie auf dem Zugerberg und in Frauenthal (Ammoniak) verwendet werden.

Diese Belastungsabnahmen von 2003 nach 2013 sind die positiven Folgen der in den letzten Jahrzehnten getroffenen Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität. Immer noch sind aber 2013 Gebiete mit hohen Belastungen verschiedener Schadstoffe zu finden. Diese Belastungen sind gemäss Luftreinhalte-Verordnung LRV des Bundes auf ein Mass zu senken, welches die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze gewährleistet.

Entsprechend hat der Kanton Zug weitere Massnahmen zur Senkung der Luftbelastung ergriffen. Insbesondere wurde 2017 zusammen mit andern Zentralschweizer Kantone der zweiten gemeinsamen Massnahmenplan gegen übermässige Luftschadstoff-Emissionen umgesetzt. Eine dritte Massnahmenplan-Generation ist zurzeit in Vorbereitung.

Der Kanton Zug hat neben 2003 und 2013 auch bereits schon 1993 Flechtenuntersuchungen mit der identischen Methode vorgenommen. Diese ältesten Erhebungen wurden bisher noch nicht mit der neu kalibrierten Methode ausgewertet, da die Kalibration sich auf die Zeitperiode von 1994 bis 2017 beschränkt. Die Auswertung der Daten von 1993 ist aber durchaus machbar und sinnvoll, da der Erhebungszeitpunkt nur ein Jahr ausserhalb des Kalibrationszeitraumes liegt. Resultate dieser Auswertung wären Luftbelastungskarten für 1993 zu Primärschadstoffe, Ammoniak und Ozon, welche direkt mit denjenigen von 2003 und 2013 verglichen werden könnten. Die Aussagen zur Entwicklung der Luftbelastung könnten damit auf eine Zeitspanne von 20 Jahren (1993 bis 2013) erweitert werden.

Auch in der Zukunft kann die Entwicklung der Luftbelastung anhand der Flechtenuntersuchung verfolgt werden. Durch eine erneute Wiederholung der Flechtenerhebung (mindestens in Teilgebieten) können für den Erhebungszeitpunkt aktuelle Belastungskarten erstellt werden und die Entwicklung der Belastung in den vergangenen Jahren verfolgt werden. Es bietet sich an, den Zehnjahres-Rhythmus der Flechtenuntersuchungen (1993 – 2003 – 2013) fortzuführen: Die nächste Flechtenerhebung bietet sich entsprechend für 2023 an.

Die neu kalibrierte Flechtenindikationsmethode erlaubt schadstoffspezifische Aussagen zum Zustand und zur Entwicklung der Luftqualität. Sie kann zur grossräumigen Erfassung der Luftbelastung und ihrer zeitlichen Veränderung sowie zur lufthygienische Erfolgskontrolle eingesetzt werden:

-
- Sie macht das unsichtbare Phänomen Luftbelastung sichtbar, das Signal ist auch für Laien erkennbar und die resultierenden Luftgütekarten sind gut verständlich.
 - Die Wirkung der Luftqualität auf Lebewesen wird angezeigt, inklusive der Kombinationswirkungen von mehreren Luftschadstoffen.
 - Die Anzeige beinhaltet auch die Wirkung von nicht erfassten Schadstoffen.
 - Die Wirkungsanzeige mit Flechten ist näher beim Menschen als technische Messungen.
 - Die Anzeige erfolgt flächendeckend, die Flechten erfassen dank der Methodenkalibration die über die Zeit aufsummierte Schadwirkung als Luftgesamtbelastung.

Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich die Flechtenindikationsmethode gut für die Öffentlichkeitsarbeit zur Luftqualität und deren Entwicklung.