



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Luft, Klima und Strahlung

April 2021
Felix Baum, Nadia Vogel

Messung der Mobilfunkstrahlung der Kleinzelle Bäckeranlage Zürich



Inhalt

1. Ausgangslage / Motivation	3
2. Methodik	4
3. Messresultate	6
4. Rechnerische Feldstärke-abschätzung	8
5. Zusammenfassung, Fazit	9
Anhang I	
Zweistufiges Schutzsystem und Grenzwerte Mobilfunk	

1. Ausgangslage / Motivation

Mobilfunknetze sind zelluläre Systeme. Sie bestehen vor allem aus Makrozellen, welche durch die bekannten, augenfälligen Mobilfunk-Basisstationen bedient werden. Diese leistungsstarken Anlagen müssen gemäss der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) nicht nur den Immissionsgrenzwert (IGW) von 36 bis 61 V/m (je nach Sendefrequenz, siehe Anhang) sondern an «Orten mit empfindlichen Nutzungen» (OMEN) auch einen Anlagegrenzwert (AGW) von 4 bis 6 V/m einhalten.

Um punktuell im Netz zusätzliche Kapazitäten bereit zu stellen, werden diese Makrozellen punktuell mit Kleinzellen kombiniert. Dabei handelt es sich um (physisch) kleine Anlagen mit geringer Sendeleistung, welche i.d.R. nicht bewilligungspflichtig sind und keinen AGW, sondern nur den IGW einhalten müssen.



Abbildung 1: Links die Antennen einer Mobilfunk-Basisstation einer Makrozelle. Solche Sendeanlagen weisen Sendeleistungen von mehreren Hundert bis mehreren Tausend Watt ERP auf. Rechts die Antenne einer Kleinzelle mit einer maximalen Sendeleistung von 6 Watt ERP.

Im Januar 2020 wurde die Baudirektion aufgefordert, sich dafür einzusetzen, dass auch Kleinzellen mit einer maximalen Sendeleistung von 6 Watt ERP dem AGW unterstellt werden. Dies, da aufgrund einer Zunahme dieser attraktiven - da bewilligungsfreien - Antennen im Zuge der Einführung von 5G eine Aufweichung des AGWs und ein unkontrollierter Anstieg der hochfrequenten nichtionisierenden Strahlung (HF-NIS) befürchtet wurde. Als Beispiel wurde eine Kleinzelle nahe eines Kinderspielplatzes in der Bäckeranlage der Stadt Zürich (siehe Abbildung 1) angeführt.

Um zu überprüfen, wie hoch die Belastung durch HF-NIS in der Bäckeranlage tatsächlich ist, und ob entsprechend ein Handlungsbedarf besteht, hat das AWEL die von der Antenne an bestimmten Orten ankommende Mobilfunkstrahlung vor Ort gemessen und zusätzlich rechnerisch abgeschätzt.

2. Methodik

Messgerät und Datenerhebung

Die Messungen wurden am 26. Juni 2020 und am 4. September 2020 mit einem professionellen Feldstärkemessgerät (Narda SRM 3006) durchgeführt. Die Antenne der Kleinzelle Bäckieranlage sendet ausschliesslich im Frequenzband 2600 MHz (Downlink: 2620 MHz – 2690 MHz). An jedem Messpunkt wurde jeweils für 30 Minuten mit einem Intervall von 6 Sekunden gemessen. Bei einer Wiederholungsrate («sweep time») von rund einer Sekunde resultieren nach 30 Minuten rund 1800 Messwerte. Für die Datenauswertung wurde von jeweils sechs aufeinanderfolgenden Messwerten (i.e. pro 6-Sekunden-Intervall) der höchste für die nachfolgenden Analysen berücksichtigt. Die erweiterte Messunsicherheit des Geräts beträgt gemäss Herstellerangaben 38 %.

Durch die frequenzselektive Messung über das gesamte 2600 MHz-Downlink-Band können die ermittelten Feldstärkebeiträge der Antenne der Kleinzelle über-, aber nicht unterschätzt werden. Dies, weil allenfalls vorhandene Beiträge von weiteren, umliegenden Mobilfunkanlagen bei dieser Messmethode mitgemessen werden.

Messorte

Die Antenne der Kleinzelle in der Bäckieranlage ist an einem Mast in rund 6 m Höhe über Grund montiert (Abbildung 2, links). Die Hauptstrahlrichtung der Antenne beträgt 165°.



Abbildung 2: Sendeanlage auf rund 6 Metern Höhe über Grund in der Bäckieranlage, 8004 Zürich (links) und Narda-Messsystem (SRM 3006 mit dreifussiger Universalantenne 27 MHz – 6 GHz) am Messpunkt 3 beim Spielplatz vor dem Quartierzentrum in rund 30 m Distanz zur Antenne (rechts).

In Hauptstrahlrichtung (165°) der Antenne wurde in verschiedenen Distanzen zur Antenne auf rund 1.5 m über Grund gemessen. Die Hauptstrahlrichtung der Antenne und die Messpunkte sind in Abbildung 3 ersichtlich. Messpunkt 1 befindet sich ca. zwei Meter vor dem Antennenmast, was einer effektiven Distanz zur Antenne von rund 5 m entspricht. Messpunkt 2 befindet sich in rund 12 m Distanz zur Antenne. Die Messpunkte 3 (siehe auch Abbildung 2, rechts), 4 und 5 liegen in 30 m, 50 m und 60 m Entfernung zur Antenne (die Angaben verstehen sich jeweils als effektive Distanzen).

Die Messung bei Messpunkt 1 wurde zur Überprüfung der ursprünglichen Ergebnisse am 4. September 2020 wiederholt.

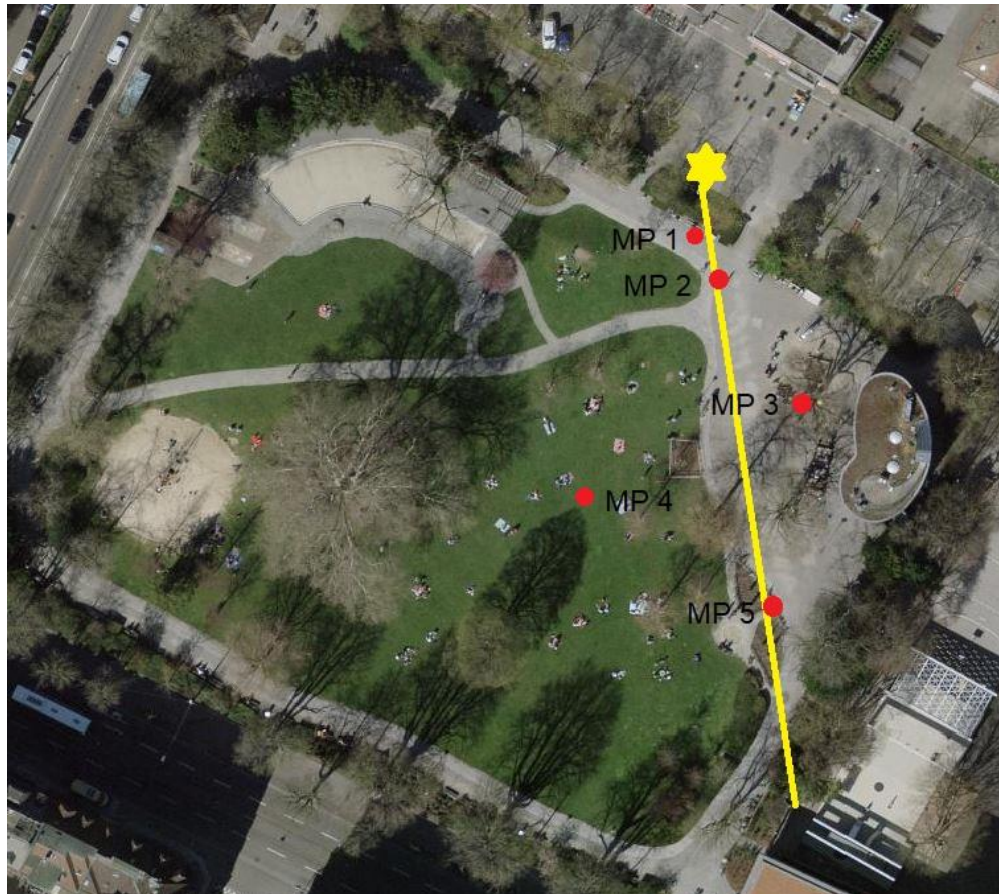


Abbildung 3: Messpunkte Bäckeranlage (rote Punkte). Die Messpunkte 1 bis 5 befinden sich in rund 5 m, 12 m, 30 m, 50 m und 60 m Distanz zur untersuchten Mobilfunkantenne (gelber Stern). Die Hauptstrahlrichtung beträgt 165° (gelbe Linie). Luftbild: Google maps.

3. Messresultate

Um einen ersten Überblick zu erhalten, wurde zunächst eine Spektrumanalyse von 600 MHz bis 4 GHz durchgeführt. In diesem Bereich liegen alle kommerziell nutzbaren Mobilfunkfrequenzen. Die Aktivität der Kleinzelle bei 2600 MHz ist sehr gut zu erkennen (rote Markierung in Abbildung 4). Von umliegenden Anlagen wurden auch Aktivitäten in den Frequenzbändern 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz aufgezeichnet.

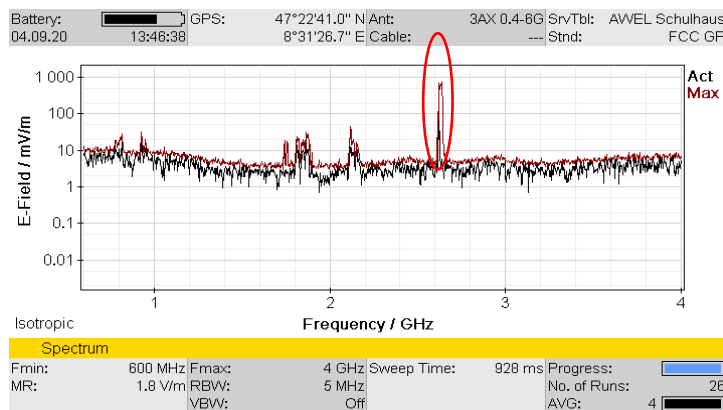


Abbildung 4: Spektrumanalyse bei Messpunkt 1 (durchgeführt mit der dreiachsigen SRM Universalanterie 400 MHz - 6 GHz). Die Aktivität der untersuchten Antenne bei 2600 MHz ist gut sichtbar (rote Markierung). Weitere Peaks in den Frequenzbändern 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz stammen von umliegenden Mobilfunkanlagen. Im Frequenzband 3.4 - 3.8 GHz konnten weder am 26. Juni 2020 noch am 4. September 2020 Aktivitäten detektiert werden.

Abbildung 5 zeigt die an den fünf Messpunkten über jeweils 30 min erhobenen Daten.

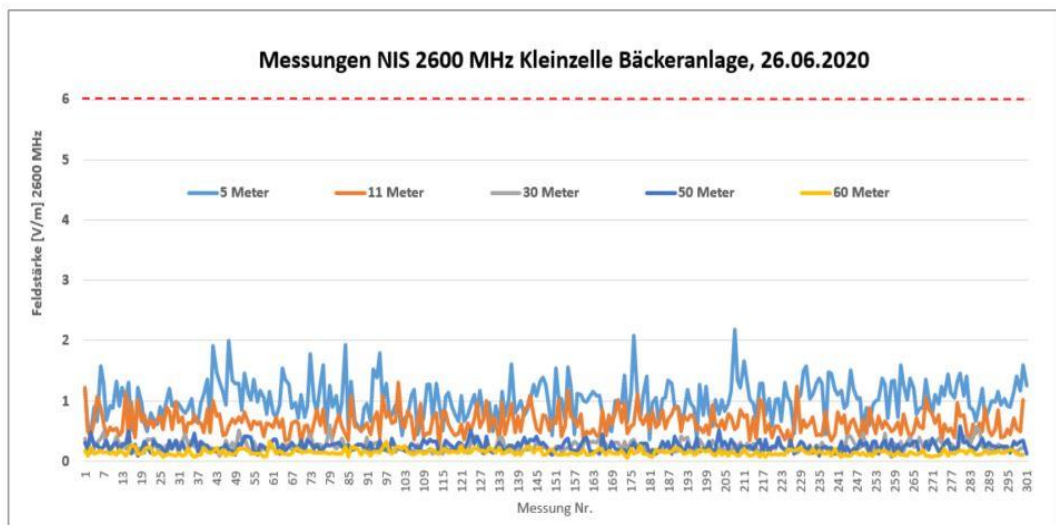


Abbildung 5: Gemessene Feldstärken im Frequenzband 2600 MHz in verschiedenen Distanzen zur Antenne am 26.06.2020. Dargestellt sind die die Maximalwerte, welche über 30 Minuten jeweils in einem Intervall von sechs Sekunden aufgezeichnet wurden. Der AGW für leistungsstarke Sendeanlagen im gleichen Frequenzband liegt bei 6 V/m (rote gestrichelte Linie).

Die höchsten elektrischen Feldstärken ergeben sich bei dem der Antenne am nächsten gelegenen Messpunkt. Mit zunehmender Distanz nehmen die gemessenen Feldstärken erwartungsgemäss deutlich ab. Die gemessenen maximalen Feldstärken, sowie deren gemittelte Werte (RMS) sind in Tabelle 1 aufgelistet.

	Maximaler Messwert	Mittelwert (RMS)	Berechneter Wert
Messpunkt 1 (5 m)	2.2 V/m (1.9 V/m)	1.1 V/m (1.0 V/m)	3.5 V/m
Messpunkt 2 (12 m)	1.3 V/m	0.7 V/m	1.4 V/m
Messpunkt 3 (30 m)	0.6 V/m	0.3 V/m	0.6 V/m
Messpunkt 4 (50 m)	0.6 V/m	0.3 V/m	0.3 V/m
Messpunkt 5 (60 m)	0.3 V/m	0.2 V/m	0.3 V/m

Tabelle 1: Maxima und Mittelwerte (RMS, 30 Minuten) an den fünf Messpunkten. Die Werte der Kontrollmessungen vom 04.09.2020 stehen in Klammern. Zusätzlich wurden die Feldstärken pro Messpunkt unter Annahme eines Worst-Case-Szenarios berechnet (siehe Kap. 4).

Die höchsten Feldstärken von rund 2.2 V/m wurden im Abstand von 5 Metern zur Antenne gemessen. Bei 12 Metern Distanz wurden maximal 1.3 V/m und beim Spielplatz, in 30 Metern Entfernung, noch rund 0.6 V/m registriert. Die höchsten Feldstärken in 50 m und 60 m Distanz zur Antenne lagen bei 0.6 V/m bzw. 0.3 V/m.

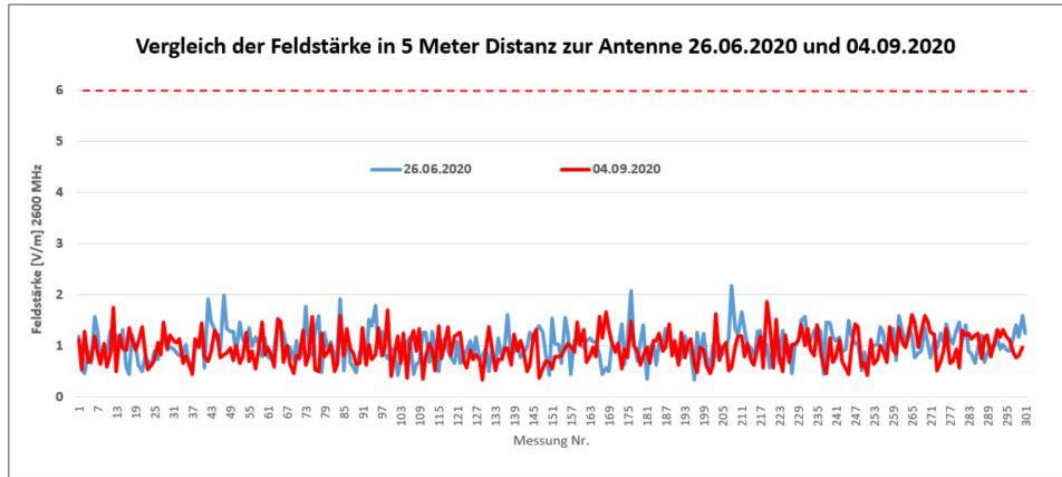


Abbildung 6: Vergleich der Feldstärken bei Messpunkt 1 in rund 5 Metern Distanz zur Antenne am 26.06.2020 (blau) und am 04.09.2020 (rot). Dargestellt sind die die Maximalwerte, welche über 30 Minuten jeweils pro Intervall von sechs Sekunden aufgezeichnet wurden.

Um die Messungen vom 26.06.2020 zu überprüfen, wurde am 04.09.2020 am Messpunkt 1 eine zusätzliche Messung durchgeführt. Die Ergebnisse beider Messungen sind in Abbildung 6 dargestellt. Die an den beiden Messtagen erhobenen Werte liegen im gleichen Bereich. Die maximal gemessenen Feldstärken lagen bei 2.2 V/m (26.06.2020) und 1.9 V/m (04.09.2020). Die gemittelten Feldstärken (RMS) lagen bei 1.1 V/m (26.06.2020) und 1.0 V/m (04.09.2020).

4. Rechnerische Feldstärkeabschätzung

Um die Plausibilität der Messungen zu überprüfen, wurden die zu erwartenden Feldstärken zusätzlich unter Annahme eines Worst-Case-Szenarios rechnerisch abgeschätzt. Hierzu wurden mit der für diese Antenne maximal erlaubten Leistung von 6 Watt ERP, ohne Berücksichtigung von Richtungsdämpfungen, die Feldstärken in den

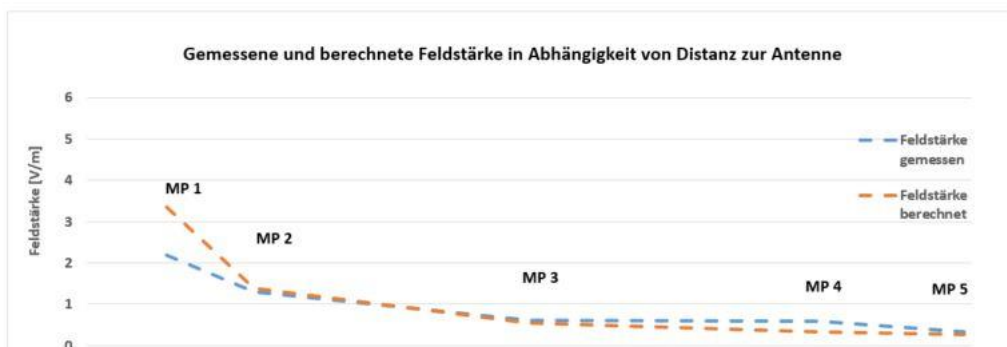


Abbildung 7: Vergleich der gemessenen (blau) und berechneten Feldstärken (orange) in verschiedenen Distanzen zur Antenne. Die berechneten Werte sind in Tabelle 1 eingetragen.

Distanzen berechnet, in denen auch die Messungen durchgeführt wurden. Abbildung 7 zeigt einen Vergleich zwischen den maximal gemessenen und den berechneten Feldstärken in den verschiedenen Distanzen zur Antenne.

Bis auf die Feldstärkewerte bei Messpunkt 1 liegen zeigen die gemessenen und berechneten Werte eine sehr gute Übereinstimmung. Die Abweichung bei Messpunkt 1 erklärt sich durch die Tatsache, dass die Antenne in der Realität eine vertikale Richtungsdämpfung aufweist, die für die rechnerische Abschätzung nicht berücksichtigt wurde. Mit zunehmender Distanz zur Antenne verliert sich der Einfluss dieser Richtungsdämpfung, da die Messpunkte eher im vertikalen Hauptstrahl der Antenne liegen.

5. Zusammenfassung, Fazit

Die maximal gemessenen bzw. die rechnerisch für ein Worst-case-Szenario abgeschätzten Feldstärken für die Kleinzelle in der Bäckereianlage der Stadt Zürich liegen bei 2.2 V/m bzw. 3.5 V/m. Die gemessenen Feldstärken halbieren sich etwa mit einer Verdoppelung der Distanz zur Antenne. Dies entspricht der erwarteten Reduktion der Feldstärken mit zunehmender Distanz zur Antenne unter Freifeldbedingungen. Eine Wiederholungsmessung rund 2.5 Monate nach den ersten Messungen zeigt die gute Reproduzierbarkeit der erhobenen Daten. Die Plausibilität der erhobenen Daten wird zusätzlich durch den Vergleich mit einer rechnerischen Abschätzung bestätigt. Die Abweichung der gemessenen und berechneten Feldstärken direkt unter der Antenne lässt sich durch die in der Berechnung nicht berücksichtigte vertikale Richtungsdämpfung der Antenne erklären.

Für leistungsstarke Anlagen (über 6 Watt ERP), die im hohen Frequenzbereich (1800 - 3800) MHz senden, liegt der gemäss NISV gültige AGW bei 6 V/m; in einem Standortdatenblatt muss dessen Einhaltung an den umliegenden OMEN rechnerisch nachgewiesen werden. Kleinzellen wie jene in der Bäckereianlage unterliegen diesem AGW nicht; ein entsprechender Nachweis mittels Standortdatenblatt ist daher nicht notwendig. Die vorliegende Untersuchung zeigt mittels Messdaten und einer rechnerischen Abschätzung, dass der AGW von 6 V/m in der Umgebung der Antenne überall eingehalten würde. Dies wäre sogar direkt unter der Antenne bei einer effektiven Distanz zwischen Antenne und Messpunkt von 4.5 m noch der Fall. Eine Überschreitung des AGW auf 1.5 m über Boden bei Antennen der Leistungsklasse bis 6 Watt ERP ist nur dann möglich, wenn die Antenne selbst niedriger als rund 6 m über Boden montiert wird. Wird hingegen die vom Hersteller geforderte Montagehöhe eingehalten, kann eine Überschreitung des AGW grundsätzlich ausgeschlossen werden, so dass eine solche Antenne auch z.B. auf einem öffentlichen Spielplatz platziert werden könnte.

Aufgrund der dargelegten Begründung besteht unseres Erachtens keine Notwendigkeit eines Nachweises der Einhaltung des AGW mittels Standortdatenblatt für Antennen mit Leistungen bis 6 Watt ERP.

Anhang:

Zweistufiges Schutzsystem und Grenzwerte Mobilfunk gemäss NISV

Der Schutz der Bevölkerung vor Mobilfunkstrahlung ist in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV; SR 814.710) geregelt. Die NISV ist technologieunabhängig und gilt unabhängig davon, ob es sich bei der Mobilfunktechnologie um 3G (UMTS), 4G (LTE) oder 5G (New Radio) handelt. Die Grenzwerte der NISV sind frequenzabhängig und decken alle derzeit betriebenen Mobilfunkfrequenzen vollständig ab. Um die Bevölkerung bestmöglich vor Mobilfunkstrahlung zu schützen, verfolgt die NISV ein zweistufiges Schutzsystem:

Zum Schutz vor thermischen Effekten auf den Menschen (der Erwärmung des Körpergewebes) müssen sämtliche Mobilfunkanlagen sogenannte **Immissionsgrenzwerte (IGW)** einhalten. Die IGW der NISV sind die gleichen Grenzwerte, wie sie auch im umliegenden Ausland mehrheitlich angewendet werden. Im Bereich der Mobilfunkfrequenzen (700 MHz – 3600 MHz) liegen die IGW zwischen 36 bis 61 Volt pro Meter (V/m). Sie müssen überall eingehalten werden, wo sich Menschen aufhalten können, und schützen vor den wissenschaftlich gesicherten Gesundheitsauswirkungen.

Weil aus der Forschung unterschiedlich gut abgestützte Beobachtungen vorliegen, wonach es auch noch andere als die thermischen Effekte gibt, legt die NISV zusätzlich Vorsorgewerte fest. Diese sogenannten **Anlagegrenzwerte (AGW)** sind für Mobilfunkstrahlung rund 10-mal tiefer als die Immissionsgrenzwerte und betragen 4 bis 6 V/m. Sie müssen nicht überall, sondern nur an den Orten mit empfindlicher Nutzung eingehalten werden. Dazu zählen insbesondere Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Spitäler, ständige Arbeitsplätze und öffentliche Kinderspielplätze, also Orte, wo sich Menschen während längerer Zeit aufhalten. Die Anlagegrenzwerte sollen an diesen Orten die Langzeitbelastung der Bevölkerung tief halten.