



Anpassungsstrategien der öffentlichen Trinkwasserversorgung an Extremereignisse

Lösungsoptionen für die Praxis
Executive Summary

TrinkXtrem

Das Projekt

Meteorologische Extremereignisse wie langanhaltende Trockenperioden stellen die öffentliche Wasserversorgung in einigen Gebieten vor Herausforderungen. Extremereignisse wirken über die gesamte Prozesskette der Wasserversorgung. Beispielsweise nimmt die Menge der zur Wasseraufbereitung verfügbaren Wasserressourcen in Trockenperioden ab, während gleichzeitig der Trinkwasserbedarf ansteigt. In Trockenperioden verschlechtert sich typischerweise die Qualität von Flusswässern, da der Abwasseranteil zunimmt. Selbst oberflächennahe Grundwässer können qualitativ beeinträchtigt werden, beispielsweise sofern sich während Trockenperioden Bodenrisse bilden, über die bei Starkniederschlagsereignissen Oberflächenwasser eintritt. Im Wasserwerk müssen Aufbereitungsverfahren bereitstehen, die sich an veränderte Rohwasserbeschafflichkeiten anpassen können. Bei der Verteilung von Trinkwasser muss das Rohrnetz resilient gegenüber Mehrbedarfen durch die Verbraucher sein.

Durch die **lokale Prägung der Wasserversorgung** sind die Auswirkungen von Extremereignissen auf die einzelnen Wasserversorgungsunternehmen zudem höchst unterschiedlich. Beispielsweise bestehen Unterschiede bei der Herkunft der Wasserressourcen (u. a. Grund-, Talsperren- oder Flusswasser), der Versorgungsstruktur (u. a. Fernwasserversorger, Flä-

chenwasserversorger) oder der Kundenstruktur (u. a. Kommunen, Haushalte, Gewerbe).

Das **Forschungsprojekt TrinkXtrem** hat sich das Ziel gesetzt, die vielfältigen Auswirkungen von Extremereignissen auf die öffentliche Wasserversorgung ganzheitlich zu betrachten. Zum Projektkonsortium zählen 15 Partner, davon fünf Partner assoziiert. Unter den Partnern befinden sich fünf Wasserversorgungsunternehmen. Diese haben einen **erheblichen Anteil an der gesamten Trinkwasserversorgung Deutschlands**, indem sie ca. 8 % der Trinkwasserabgabe und ca. 10 % der Einwohner Deutschlands versorgen.

Inhaltlich wurden im Projekt TrinkXtrem vier Themenfelder fokussiert:

- Wasserressourcen: Qualität + Quantität
- Anlagenbetrieb
- Trinkwasser: Bedarf + Preise
- Risiko + Vorsorge.

Als Ergebnis entstanden neun **Methoden und Konzepte (M + K)** für die Wasserversorgung unter Extrembedingungen. Zudem wurden vier **Softwarelösungen** in den Ausbaustufen Technology Readiness Level 5 (Versuchsaufbau in Einsatzumgebung) bis 6 (Prototyp in Einsatzumgebung) für die Anlagensteuerung unter Extrembedingungen entwickelt. Die Softwarelösungen fokussieren das Rohwasser-

Wasserressourcen: Qualität + Quantität

- Software: Rohwasserbeschaffenheitsprognose
- M + K: Toxikologische Belastung von Rohwasser
- M + K: Mikrobiologische Rohwasserbeschaffenheit bei Extremereignissen
- M + K: Prognosefähigkeit von Grundwassermodellen
- M + K: Trinkwassersicherheit bei Extremjahren in Folge

Anlagenbetrieb

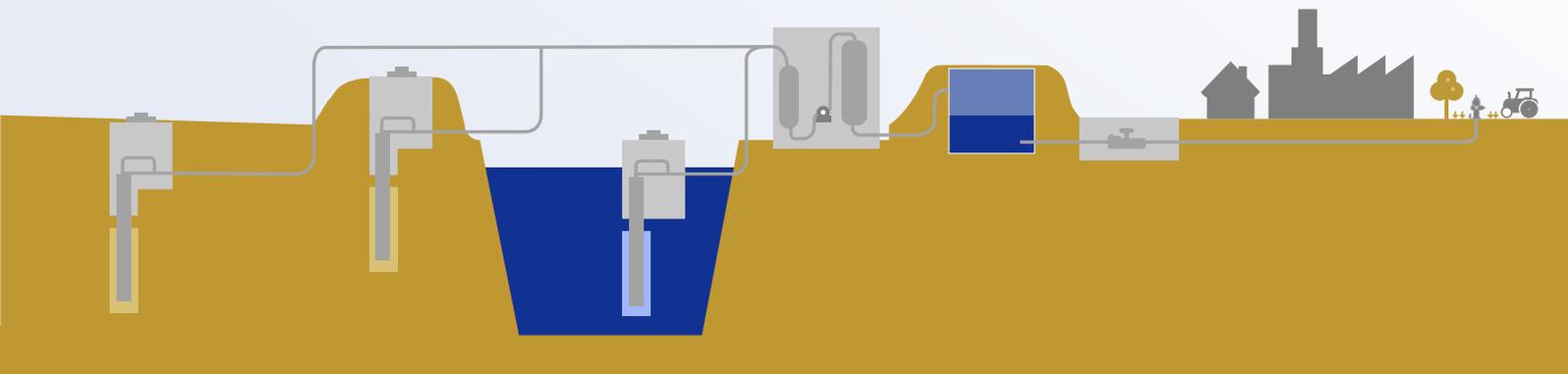
- Software: Managementtool Rohwasserbewirtschaftung
- M + K: Uferfiltration zur Ressourcenerweiterung
- M + K: Stärkung der Resilienz des Verteilnetzes

Trinkwasser: Bedarf + Preise

- Software: Trinkwasserbedarfsprognose
- Software: Anomalie-Detektion
- M + K: Preismanagement von Spitzenbedarfen

Risiko + Vorsorge

- M + K: Update des Risikomanagements im Einzugsgebiet
- M + K: Update der Vorsorgekonzepte



Das Projekt betrachtet den gesamten Prozess der Wasserversorgung.

management, die Rohwasserbeschaffenheitsprognose, die Trinkwasserbedarfsprognose sowie die Anomalie-Detektion. Die Ergebnisse des TrinkXtrem-Projektes wurden bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen **auf Basis von großtechnischen Daten** entwickelt und erprobt.

Eine Zuordnung der Projektergebnisse in die einzelnen Themenbereiche der Wasserversorgung ist im Bild dargestellt. Die einzelnen Themenbereiche sind in den nachstehenden Kapiteln kurz beschrieben.

Die Ergebnisse des TrinkXtrem-Projekts sind als Lösungsoptionen zu verstehen, die nach Adaption an die jeweiligen konkreten Bedingungen auch durch **andere Wasser-**

versorgungsunternehmen genutzt bzw. ausgebaut werden können. Die in TrinkXtrem entstandenen Methoden und Konzepte sowie die Softwarelösungen leisten somit einen Beitrag zum Ausbau der Resilienz der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Deutschland gegenüber klimatischen Extremereignissen.

Eine **Videoserie** mit insgesamt fünf Videos stellt mit einfacher und verständlicher Sprache sowie durch Reduzierung komplexer Inhalte in Text, Bild und Grafik Ergebnisse des TrinkXtrem-Projekts vor. Die Videos sind auf youtube und auf der Projekt-Website verfügbar.

Lösungsoptionen kurzgefasst

Wasserressourcen: Qualität + Quantität



Software: Rohwasserbeschafftheitsprognose

EINSATZGEBIET:

Mit Data Mining von Wasserqualitätsdaten aus der Betriebsüberwachung können Wasserversorgungsunternehmen ihren Datenpool umfangreicher als bisher nutzen.

MERKMALE:

Am Beispiel von Betriebsdaten des ZV Landeswasserversorgung zur Beschaffenheit der Donau wurde Data-Mining dazu verwendet, um relevante Muster und Erkenntnisse in den Datensätzen zu identifizieren. In Verbindung mit langjährigen Daten des Deutschen Wetterdienstes entstand daraus u. a. ein Prognosemodell, welches für den Zeitraum von Tagen die Härte im Donauwasser vorhersagen kann.



Methoden + Konzepte: Toxikologische Belastung von Rohwasser

EINSATZGEBIET:

Mit Hilfe der wirkungsbezogenen Analytik (WBA) können Wasserversorgungsunternehmen die Rohwasserqualität sowie die Wirkung einzelner Aufbereitungsverfahren aus toxikologischer Sicht einschätzen.

MERKMALE:

Stichprobenuntersuchungen mittels WBA an verschiedenen Rohwässern zeigten, dass Extremwetterereignisse bei Flusswasser und Uferfiltraten keinen erheblichen Einfluss auf die toxikologische Belastung ausüben, wobei unter extremeren Bedingungen oder an anderen Standorten Einflüsse nicht auszuschließen sind. Bei Talsperrenwasser scheinen Veränderungen insbesondere bei östrogenen Wirkungen als Folge der jahreszeitlich bedingten Umwälzung aufzutreten. Durch die Kombination von Ozon und Aktivkohlefiltration wurden neurotoxische, basistoxische und östrogene Wirkungen effektiv eliminiert. Die Auswirkungen auf die toxikologische Belastung hängen oft von den jeweiligen örtlichen Bedingungen ab und sollten separat für jeden Einzelfall mittels WBA ermittelt werden. Mit dem neu etablierten Biotest können künftig Wasserproben auch unter dem Aspekt Phytotoxizität betrachtet werden.



Methoden + Konzepte: Mikrobiologische Rohwasser- beschaffenheit bei Extremereignissen

EINSATZGEBIET:

Zur Bestimmung der mikrobiologischen Qualität werden Rohwässer in der Wasseraufbereitung üblicherweise auf bakterielle Indikatorparameter untersucht, nicht jedoch auf virale Indikatoren und Krankheitserreger. Mit Hilfe der quantitativen mikrobiellen Risikobewertung (QMRA) können Wasserversorgungsunternehmen zusätzliche theoretische Vorhersagen zum Infektionsrisiko durch Krankheitserreger treffen.

MERKMALE:

In TrinkXtrem wurden bei Fluss- und Talsperrenwässern sowie Uferfiltraten mit 35 Tagen Aufenthaltszeit im Untergrund zu Zeitpunkten mit und ohne Extremereignissen Untersuchungen zum Vorkommen von Krankheitserregern durchgeführt. Durch die Untersuchung auf Krankheitserreger und die Bestimmung der Aufbereitungswirksamkeit können Wasserversorger das jährliche Risiko unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufbereitungsstufen berechnen. In TrinkXtrem wurde festgestellt, dass Extremereignisse die statistischen Ergebnisse einer QMRA nicht signifikant verändern.



Methoden + Konzepte: Prognosefähigkeit von Grundwassermodellen

EINSATZGEBIET:

Mit der in TrinkXtrem eingesetzten Methodik kann die Kalibrierung eines bestehenden Grundwassermodells weiter verbessert werden. Dadurch können die Auswirkungen von Extremereignissen zuverlässiger prognostiziert werden.

MERKMALE:

Die Methodik basiert auf einer globalen Sensitivitätsanalyse (GSA). Die GSA bewertet den Einfluss von Modellparametern auf die Modellausgabe über einen vorgegebenen Modellparameterbereich hinweg. Durch systematische Variation der Eingabeparameter wird die Sensitivität der Modellausgabe auf Änderungen der Modellparameter geprüft. Damit können die Parameter mit dem größten Einfluss auf das Verhalten des Modells identifiziert und anschließend bei der Modellkalibrierung optimiert werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich eine Änderung der Modellparameter auf den Anfangszustand bei der Simulation auswirkt.



Methoden + Konzepte: Trinkwassersicherheit bei Extremjahren in Folge

EINSATZGEBIET:

Wasserwerken ist aus ihren Praxiserfahrungen bekannt, welche Rohwassermengen verfügbar sind, wenn sich Trockenjahre und niederschlagsreiche Jahre abwechseln. Mit der in TrinkXtrem entwickelten Methodik können Wasserversorger abschätzen, wie sich mehrere Trockenjahre in Folge auf ihr Rohwasserangebot auswirken würden. Dies trägt dazu bei, standortangepasste Entscheidungen zum Ausbau der Resilienz für die Wasserversorgung unter Extrembedingungen zu treffen.

MERKMALE:

Der hier verwendete Modellansatz erfordert den Einsatz eines langjährig instationär kalibrierten Grundwassermodells dessen Grundwasserneubildungsansatz auf einem Bodenwasserhaushaltsmodell basiert. Über statistische Verfahren werden extreme Niederschlagsituationen realitätsnah abgeschätzt und daraus mehrjährige niedrige Grundwasserstände berechnet. Dies ist die Basis für Handlungsempfehlungen bei der Ressourcennutzung durch die Wasserversorgung.



Lösungsoptionen kurzgefasst

Anlagenbetrieb



Software: Managementtool zur Rohwasserbewirtschaftung

EINSATZGEBIET:

Mit Hilfe des Managementtools können Wasserversorger in Dürreperioden aber auch unter Normalbedingungen ihre verschiedenen Rohwasserressourcen optimal nutzen. Gerade in Extremsituationen mit zeitweisem Ausfall einzelner Ressourcen kann das Tool wichtige Entscheidungen in der Ressourcennutzung unterstützen. Das Tool wurde beim Projektpartner Zweckverband Landeswasserversorgung getestet.

MERKMALE:

Das Managementtool basiert auf einem neuronalen Netz zur Realtime-Prognose der Grundwasserstände. Ein darauf aufbauender Optimierungsalgorithmus berücksichtigt Versorgungssicherheit, Trinkwasserqualität sowie Gewinnungskosten. Der Wasserversorger greift über eine Web-Oberfläche auf das Tool zu und erhält eine Entscheidungshilfe für den optimalen Betrieb der Fassungsanlagen. Das Tool unterstützt den Versorger sowohl in der mehrwöchigen als auch mehrjährigen Prognose.



Methoden + Konzepte: Uferfiltration zur Ressourcenerweiterung

EINSATZGEBIET:

Die Uferfiltratgewinnung weist prinzipiell eine bessere Resilienz gegenüber hydrologischen Extremereignissen auf als herkömmliche Grundwassergewinnungen, da sie sowohl auf Grundwasser als auch auf Oberflächenwasser als Ressource zugreifen kann. Am Beispiel der Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz GmbH wurde gezeigt, welche Potentiale eine mögliche Erweiterung der Rohwasserfassung durch Uferfiltration aufweist.

MERKMALE:

Auf Basis einer Geosystem- und Bestandsanalyse, eines Monitorings von Grundwasserständen und Indikatorparametern zur Grundwasserbeschaffenheit wurde eine numerische Modellierung zur Visualisierung der hydraulischen und zur Modellierung von Zukunftsszenarien vorgenommen. Daraus wurden neue Bewirtschaftungskonzepte wie z.B. eine infiltrationsgestützte Uferfiltratgewinnung abgeleitet. Diese könnte die Grundlage für ein integriertes Gebietswassermanagement darstellen, mit dem die Trinkwasserversorgung auch in hydrologischen Extremzeiten nachhaltig und langfristig sichergestellt werden kann.



Methoden + Konzepte: Stärkung der Resilienz des Verteilnetzes

EINSATZGEBIET:

Die entwickelte Methodik hilft Wasserversorgern besonders in Bezug auf Extremereignissen, Vulnerabilitäten im Wasserversorgungssystem zu identifizieren und zu beheben. Dazu werden Extremszenarien identifiziert und das System unter diesen Bedingungen simuliert. Die Methodik wurde am Beispiel der Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz GmbH umgesetzt.

MERKMALE:

Die Methodik erfordert eine umfassende Datenhaltung des Wasserversorgungsunternehmens bezüglich des Verteilungsnetzes. Mithilfe mathematischer Optimierung können verschiedene Versorgungssituationen dargestellt und hinsichtlich der gewählten Extremszenarien optimiert werden. Dazu zählen Zubaumaßnahmen wie zusätzliche Rohrverbindungen oder Speicherkapazitäten, Druckregelungen zwischen Zonen inklusive Bestimmung der optimalen Positionierung, aber auch optimale Steuerungen der aktiven Netzelemente. Die Resilienz des Versorgungssystems wird so effektiv und kosteneffizient in Hinblick auf eine Anpassung an extreme Klimaereignisse gesteigert.

Lösungsoptionen kurzgefasst

Trinkwasser: Bedarf + Preise



Software: Trinkwasserbedarfsprognose

EINSATZGEBIET:

Insbesondere unter extremen klimatischen Bedingungen erfordert der Wasserwerksbetrieb eine Vorhersage des Trinkwasserverbrauchs. Über einen Webservice können Wasserversorger auf ein entsprechendes Prognosetool zugreifen.

MERKMALE:

Für die Vorhersage des mittleren Wasserbedarfs und des Spitzenbedarfs wurden Modelle auf Basis des maschinellen Lernens entwickelt. Die Modelle basieren auf den Bedarfsdaten der Wasserversorger aus der Vergangenheit sowie weiteren Daten wie beispielsweise Temperatur, Niederschlag, Wochen- bzw. Feiertage oder Ferienperioden. Im Rahmen des Projektes wurde die praktische Anwendbarkeit bei den Harzwasserwerken GmbH und beim Zweckverband Landeswasserversorgung im großtechnischen Maßstab zur Prognose des Trinkwasserbedarfs für die jeweils nächsten Tage eingesetzt. Es zeigte sich eine hohe Prognosegüte mit maximalen Abweichungen im Bereich von 3 %.



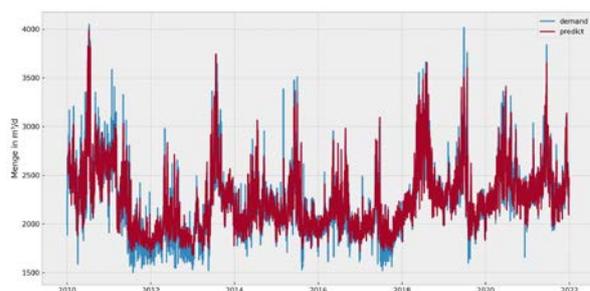
Software: Anomalie-Detektion

EINSATZGEBIET:

Extremereignisse treten naturgemäß selten auf. Beim Data-Mining von Wasserverbrauchsdaten können solche Ereignisse als Anomalien definiert und automatisiert erkannt werden. Dazu wurde in TrinkXtrem eine entsprechende App entwickelt.

MERKMALE:

Die App basiert auf einem neuronalen Netz, die anormale Datensätze aus einem Pool von Trinkwasserverbrauchsdaten identifiziert. Die App wurde für Anwendungsfälle und spezifische Szenarien bei den Harzwasserwerken GmbH und bei der Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH konfiguriert und getestet.



Das Prognosetool zum Trinkwasserbedarf zeigt nur sehr geringe Abweichungen.



Methoden + Konzepte: Preismanagement von Spitzenbedarfen

EINSATZGEBIET:

Mit der in TrinkXtrem entwickelten Methodik können Wasserversorger dynamische Preismodellkomponenten entwickeln, um die Kundennachfrage effizient zu verschieben. Damit werden ökonomische Anreize für Kunden geschaffen, um ihren Wasserverbrauch von lastintensiven in lastärmere Zeiten zu verlagern.

MERKMALE:

Die Gestaltung des zeitlich variierenden Preis- bzw. Anreizmodells ist in fünf Arbeitsschritten beschrieben. Ziel ist eine bessere Auslastung der vorhandenen Infrastruktur, eine Erhöhung der Versorgungssicherheit sowie eine Verminderung der Spitzenlasten. Kurzfristig führt dies zu Betriebskosteneinsparungen und verringert langfristig die Notwendigkeit von Investitionen in zusätzliche Systemkapazitäten. Die Methodik bezieht die Erfahrungen aus der Zusammenarbeit mit den Harzwasserwerken GmbH, dem Zweckverband Landeswasserversorgung sowie der Rheinisch-Westfälischen Wasserversorgungsgesellschaft mbH ein.



TrinkXtrem als Videoserie

Unter folgenden Links können Sie sich die Videos auf Youtube ansehen:

Video 1: Menge und Qualität verändern sich – aber wie?

→ [Link zum Video in youtube](#)

Video 2: Wasserressourcen – wie Wasserwerke ihre Bewirtschaftung optimieren

→ [Link zum Video in youtube](#)

Video 3: Prognosen und Preise – wie der Wasserbedarf mit Data Mining und KI gesteuert werden kann

→ [Link zum Video in youtube](#)

Video 4: Risikomanagement und Vorsorgekonzepte an Extremwetterereignisse anpassen

→ [Link zum Video in youtube](#)

Video 5: Das Projekt TrinkXtrem – Lösungsoptionen für die Praxis

→ Video in Produktion – Link folgt

Lösungsoptionen kurzgefasst

Risiko + Vorsorge



Methoden + Konzepte: Update des Risikomanagements im Einzugsgebiet

EINSATZGEBIET:

Die entwickelte Methodik erweitert bestehende GIS-gestützte Risikomanagementsysteme für Trinkwassereinzugsgebiete, um hydrologische Extremereignisse besser berücksichtigen zu können.

MERKMALE:

Das Risikomanagement im Einzugsgebiet wird erweitert und angepasst, um hydrologische Extremereignisse verstärkt zu berücksichtigen. Die vorhandene Systembeschreibung wird durch einen Klimasteckbrief ergänzt, der gebietsspezifische Informationen zum aktuellen und prognostizierten Klima enthält. Auf dieser Grundlage werden die für dieses Gebiet relevanten hydrologischen Extremereignisse identifiziert. Die Risikobewertung wird an diese Extremereignisse angepasst, indem sowohl die Bewertung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit adaptiert werden als auch eine Neubewertung der Schutzwirkung bei Extremereignissen erfolgt. So entsteht eine Grundlage für die Risikobeherrschung, die die Klimaresilienz des Systems steigert.



Methoden + Konzepte: Update der Vorsorgekonzepte

EINSATZGEBIET:

Ein übertragbares Vorgehen zur Erstellung von Vorsorgekonzepten wurde so optimiert, dass es die Wirksamkeit und Effektivität von Risikomanagementmaßnahmen bei hydrologischen Extremereignissen steigert. Dazu wurden bestehende Vorsorgekonzepte methodisch weiterentwickelt.

MERKMALE:

Die Anpassungen betreffen insbesondere die Vorgehensweise der Risikoanalyse sowie die Ableitung vorbeugender Maßnahmen. So wurde die Gefährdungsanalyse als Teil der Risikoanalyse auf Szenarien hydrologischer Extremereignisse abgestimmt. Die Vulnerabilitätsanalyse wurde um eine Kritikalitätsanalyse ergänzt, um die Bedeutung einzelner Komponenten für die Versorgungssicherheit gezielt bewerten zu können. Dabei umfasst die Vulnerabilitätsanalyse nicht nur technische Komponenten, sondern auch Ökosysteme, Wasserressourcen und organisatorische Strukturen. Diese stellen ebenfalls zentrale Systemkomponenten dar und können gegenüber hydrologischen Extremereignissen verwundbar sein. Die Ergebnisse dieser Analyseschritte bilden die Grundlage für die Ableitung wirksamer und effektiver Risikomanagementmaßnahmen.

Projektpartner



Assoziierte Partner

- Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH
- Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Verbundprojekt TrinkXtrem unter den Förderkennzeichen 02WEE1625A-J in der Fördermaßnahme Wasser-Extremereignisse (WaX) des Bundesprogramms Wasser:N. Wasser:N ist Teil der BMBF-Strategie Forschung für Nachhaltigkeit (FONA). Zusätzlich steuerten die beteiligten Unternehmen aus Wasserversorgung und Mittelstand rund 20 % der Gesamtkosten an Eigenleistung bei.

GEFÖRDERT VOM



Weitere Informationen

Der ausführliche Abschlussbericht auf der TrinkXtrem-Website bietet detaillierte Informationen zu den neuen Softwarelösungen, Methoden und Konzepten.



Herausgeber:

Projektkoordination TrinkXtrem – TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser
Karlsruher Str. 84 | 76139 Karlsruhe
T: +49 721 9678-0 | E: kontakt@trinkxtrem.de

www.trinkxtrem.de

