

E.ON Kraftwerke GmbH  
Tresckowstrasse 5

30457 Hannover

## **Bewertung der mikrobiologisch-hygienischen Auswirkungen von drei Anlagenvarianten**

Stand: 08.07.2008

Prof. Dr. med. H.-P. Werner  
Facharzt für Hygiene und Mikrobiologie

### **Variante A: Vorhabensvariante 1.050 MW<sub>el</sub> Steinkohle:**

Errichtung eines mit Steinkohle befeuerten Kraftwerksblockes, Block 6, mit einer elektrischen Nettoleistung von 1050 MW<sub>el</sub> und Stilllegung der derzeit betriebenen Kohleblöcke 1, 2 und 3 mit einer gesamten elektrischen Nettoleistung von 791 MW<sub>el</sub>. Das Kühlwasser des Blockes 6 wird über einen 180 m hohen Naturzug-Naßkühlturm im Kreislaufbetrieb mit 4facher Eindickung rückgekühlt. Die Ableitung der gereinigten Rauchgase erfolgt gemeinsam mit den Kühlturmschwaden über den Kühlturm

### **Variante B: Vergleichsvariante 1.050 MW<sub>el</sub> GuD-Kraftwerk:**

Errichtung einer mit Erdgas befeuerten Kraftwerksanlage bestehend aus zwei Einzelblöcken mit einer elektrischen Nettoleistung von jeweils 525 MW<sub>el</sub> und Stilllegung der derzeit betriebenen Kohleblöcke 1, 2 und 3 mit einer gesamten elektrischen Nettoleistung von 791 MW<sub>el</sub>. Das Kühlwasser des GuD-Kraftwerkes wird über einen . 140 m hohen Naturzug-Nasskühlturm im reinem Kreislaufbetrieb rückgekühlt. Die Rauchgase der GuD-Blöcke werden über separate Schornsteine in die Atmosphäre abgegeben.

Diese Variante unterscheidet sich in kühltechnischer Hinsicht nicht grundlegend von der Vorhabenvariante, abgesehen davon, dass der GuD-Block mit Erdgas statt mit Steinkohle befeuert wird.

**Variante C: Nullvariante:**

Verzicht auf den Neubau des geplanten Kraftwerkblockes; Weiterbetrieb der bestehenden Blöcke 1, 2, 3, 4 und 5. Die Blöcke 1, 2 und 3 werden dann nach vorheriger Durchführung Lebensdauer verlängernder Maßnahmen bis weit über das Jahr 2012 hinaus betrieben.

# 1.0 Grundlagen der Kühlturmtechnologie

## 1.1 Bauweise und Betriebsarten

Gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kann Wärme nur dann in Arbeit umgewandelt werden –wie in einem Kraftwerk-, wenn zugleich ein Teil der Wärme von einem wärmeren auf ein kälteres Medium (vom Wärmeträger in die Umgebung) übergeht. Hierbei ist der Wirkungsgrad eines Kraftwerks umso höher, wenn die Wärme bei möglichst hoher Temperatur der Turbine zugeführt und bei möglichst niedriger Temperatur im Kondensator abgeführt wird. Im Kondensator eines jeden Kraftwerkes wird daher Abwärme auf ein Kühlwassersystem übertragen. Diese Abwärme kann nunmehr direkt in jedes natürliche Gewässer eingeleitet und von dort aus an die Atmosphäre abgegeben werden. Soll der direkte Wärmeeintrag in das Gewässer reduziert werden, insbesondere bei Niedrigwasser und/oder erhöhter Temperatur des Gewässers, so wird über eine Kühlanlage Abwärme abgeführt. Letztendlich gelangt also die Wärme entweder direkt über das natürliche Gewässer oder teilweise indirekt über die Kühlanlage in die Atmosphäre.

In einem *Nasskühlturm* geschieht dieser Wärmeaustausch vom Kühlwasser an die Umgebungsluft durch zwei Effekte:

- Verdunstung und
- Konvektion.

Verdunstung ist der Übergang vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand unterhalb der Siedetemperatur. Die hierfür erforderliche Wärme wird dem verdunstenden Kühlwasser entnommen und mit dem Dampf von der im Kühlturm vorbeistreifenden Luft aufgenommen.

Konvektion ist die Wärmeabgabe des Kühlwassers an die Umgebungsluft durch die direkte Temperaturerhöhung.

Bei Nasskühltürmen geschieht der Wärmeübergang im Wesentlichen durch die Verdunstung und nur zu einem geringen Teil durch Konvektion an die im Kühlturm durchströmende Luft.

Auf diese Weise wird aus dem Kühlwasser in die Luft sowohl Wärme als auch Wasser übertragen. Um diesen Austausch zu optimieren, werden möglichst große Kontaktflächen in der so- genannten Regenzone geschaffen.

Das aus einem Nasskühlturm freigesetzte Gemisch aus Luft, Wasserdampf und Wassertropfen wird als Kühlturmschwaden bezeichnet. Die mitgeführten Wassertropfen geben dem Schwaden das Aussehen einer Nebelfahne. Für den Austrag von Inhaltsstoffen (Mikroorganismen, chemische Inhalte) sind aber praktisch nur die mitgerissenen Kühlwassertropfen von Bedeutung. Zusätzlich entstehen je nach Umgebungsbedingungen zahlreiche „Rekondensationstropfen“ schon bereits während der Passage im Nasskühlturm.

In dem sogenannten *Naturzug*-Nasskühlturm, mit relativ hoher Bauweise, steigt der erwärmte Schwaden im Inneren infolge der Kaminwirkung auf und zieht dadurch selbst die Kühlluft am Boden nach.

Zum weitergehenden Verständnis der hygienischen Beurteilung müssen auch die mechanisch/physikalischen Gegebenheiten betrachtet werden. Das Warmwasser wird über Kanäle etwa auf eine Höhe von ca. 14 m in die Wasserverteilzone des Kühlturms gefördert und über feine Düsen und Rieselplatten verteilt werden, so dass die vorher beschriebene große Berührungsfläche mit der durchströmenden Luft resultiert.

Das Wasser fällt also nach unten, wohingegen sich der Luftstrom in Gegenrichtung bewegt und so zum Schwaden wird. Die geplante Betriebsweise als Kreislaufkühlung wirkt sich vorteilhaft aus, da hier im Gegensatz zu einer Ablaufkühlung das Mainwasser mit vorheriger Aufbereitung eingesetzt wird. Damit ist die bei Ablaufkühlungen zu beobachtende Ausbildung von biologischen Belägen nahezu ausgeschlossen. Ebenfalls vorteilhaft ist der Betrieb im Grundlastbereich, da kaum Zeiten des Stillstandes zu erwarten sind, in denen die Beläge austrocknen und nach Lageänderung die Wasserpassage bei nachfolgendem Betrieb verlegen können. Dies wäre einerseits thermodynamisch nachteilig, andererseits können sich geschützt in diesen Belägen spezifische Mikroorganismen vermehren. Dadurch wird der Einsatz von Bioziden nicht nötig, bzw. ist im Kreislaufbetrieb auszuschließen. Oberhalb dieser Einbauten ist der sogenannte Tropfenabscheider angeordnet, welcher den Austrag von mitgerissenen Kühlwassertropfen reduziert. Beim Herabrieseln des Kühlwassers entstehen unterschiedlich große Tropfen (20µm – 8 mm) und könnten ohne den oberhalb gelegenen Tropfenabscheider über den Schwaden ausgetragen werden.

Große Tropfen fallen wieder zurück und nur kleinere Tröpfchen, also mit geringerer Sinkgeschwindigkeit als die aufsteigende Strömungsgeschwindigkeit des Schwadens, können im ausgetragenen Schwaden verbleiben.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik scheiden *Tropfenabscheider* in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft in diesem Bereich (optimal zwischen 1 – 4 m/s) Kühlwassertropfen von mehr als 0,1 mm fast vollständig ab. Es ist davon auszugehen, dass die im Schwaden mitgerissenen Kühlwassertropfen insgesamt nur etwa 0,2 g/kg ausmachen. Mit diesen Kühlwassertropfen werden natürlich auch alle Inhaltsstoffe des Kühlwassers über den Tropfenabscheider hinaus ausgetragen.

Auf dem Weg von der Höhe oberhalb des Tropfenabscheiders bis zur Kühlturmkrone eines Naturzug-Nasskühlturmes und erst recht bis zum tatsächlichen Emissionspunkt reduzieren sich die koloniebildenden Einheiten aufgrund der natürlichen Absterberate in einem Ausmaß zwischen 1 – 2  $\log_{10}$  Einheiten (siehe Zbl. Bakt. Hyg./Abt-Orig B 169)

Neben diesen wesentlichen Einzelheiten der Konstruktion sind also auch die *Betriebsarten* zu berücksichtigen. So kann, wie erwähnt, ein Kühlturm im *Ablauf* betrieben werden, d.h. das erwärmte Kühlwasser wird über den Kühlturm geleitet und danach dem Vorfluter (Main) zugeführt. Also ist eine sehr kurze Verweilzeit des Wassers aus dem natürlichen Gewässer nun als Kühlwasser und über den Kühlturm wiederum zum Ursprungsgewässer von ca. 7-10 Minuten anzusetzen. In dieser kurzen Zeit ist auch durch eine erhöhte Temperatur bei relativ geringem Nährstoffangebot nicht mit einer Keimvermehrung in einem Ausmaß zu rechnen, wodurch das natürliche Gewässer nach Einleitung des Kühlwassers einen erhöhten Keimgehalt aufweist. Hingegen muss bei einem sogenannten *Kreislaufbetrieb*, wo also das Kühlwasser nach Abkühlung in der Kühlanlage wiederum dem Kondensator zugeführt wird grundsätzlich mit einer erhöhten Keimvermehrung gerechnet werden, da das Temperaturniveau bei einer Kreislaufkühlung höher ist als bei einer Ablaufkühlung. In diesem Fall ist durch die besondere Aufbereitung des sogenannten Zusatzwassers und die Betriebsführung des Kühlturmes, insbesondere eine Anreicherung von Nährstoffen im Kühlkreislauf zu verhindern.

Es muss mit aller Klarheit hervorgehoben werden, dass die erhöhte Temperatur im Kreislauf alleine keine Keimvermehrung verursachen kann. Sind jedoch ausreichende Nährstoffe im Kreislaufwasser enthalten, so kann durch die erhöhte Temperatur eine Keimvermehrung beschleunigt werden. Infolge dieser Abhängigkeit von Nährstoffangebot erklärt sich aber auch eine eventuelle unterschiedliche Keimvermehrung bestimmter Keimarten. Folglich ist es bei der Analyse eventueller Risiken in einem Kreislaufbetrieb erforderlich auf spezifische Keimarten zu untersuchen.

In einem Kreislaufbetrieb wird dem Kühlsystem durch Verdunstung Wasser entzogen. Dies würde kontinuierlich zur Aufkonzentration von Inhaltsstoffen führen und somit letztendlich thermodynamisch Nachteile im Bereich des Kondensators verursachen. Somit wird dies schon alleine aus technischer Sicht verhindert. Derartige nachteilige Phänomene sind dadurch zu reduzieren, dass das Kreislaufwasser annähernd in Trinkwasserqualität bereitgestellt und kontinuierlich ergänzt wird. In Abhängigkeit einiger Faktoren des Kreislaufbetriebes (Temperaturniveau, Schwadenmenge, Außenlufttemperatur und Luftfeuchte) wird ein bestimmter Eindickungsgrad gefahren. Aus hygienischer Sicht ist zu fordern, dass durch die Wasseraufbereitung und Betriebsführung des Kühlturms keine Keimanreicherung ermöglicht wird, welche oberhalb des Keimgehaltes des Vorfluters liegt. Durch einen derart hygienisch gesicherten Kühlturbetrieb wird erreicht, dass das Mainwasser zwar zur Kühlung genutzt, aber der Main nicht über das sogenannte Abschlämmwasser mit erhöhtem Keimeintrag belastet wird.

## 1.2 Hygienisch-mikrobiologische Grundlagen

Neben Tieren und Pflanzen unterscheidet man eine weitere Gruppe von „Lebewesen“, sogenannte Protisten. Sie zeigen eine geringe morphologische Differenzierung, sind meist einzellig und werden aufgrund ihrer Zellstruktur in 2 Gruppen eingeteilt:

- **höhere** Protisten – Eukaryonten (mit echtem Zellkern; Karyon = Kern; Zellaufbau ähnlich dem der Tiere und Pflanzen)
- Algen, Pilze und einzellige tierische Kleinlebewesen, sog. Protozoen.
- **niedere** Protisten – Prokaryonten (ohne „echten“ mit Membran umgebenen Zellkern) – Bakterien, Blaualgen.

Das viel gebrauchte Wort „Mikroorganismen“ (= Kleinlebewesen) ist ein Sammelbegriff für Protisten mit kleinsten Abmessungen im Bereich von 100 µm (Protozoen; Pilze) bis zu 0,2 µm (z. B. Rickettsien, nach dem Entdecker Ricketts).

Obwohl wir uns nur mit „Bakterien“ befassen, seien gerafft Merkmale ihrer Nachbarn nach oben und unten in der Größenordnung vorangestellt (siehe Abb1 ).

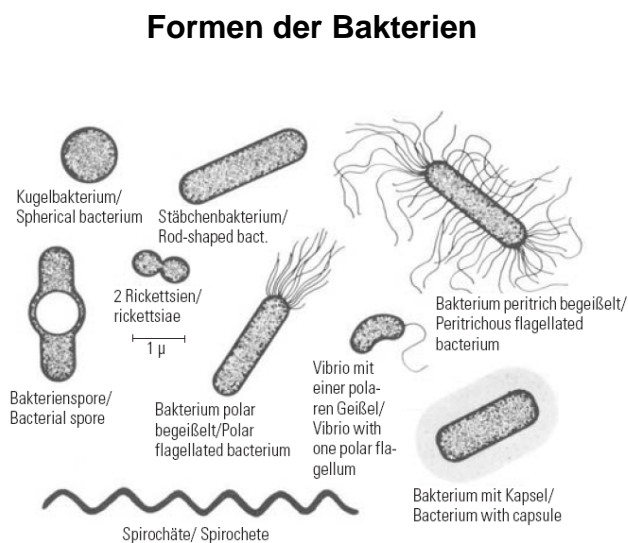


Abb1. Formen der Bakterien (nach E. Wiesmann „Medizinische Mikrobiologie“, 4. Aufl., Thieme, Stuttgart 1978).

Die Pilze (fungi) sind Eukaryonten, besitzen also Zellkerne mit Chromosomen und eine Kernmembran. Sie haben eine sexuelle und asexuelle Fortpflanzung; sie sind nicht nur gefürchtet als Bildner krebserregender Stoffe (Aflatoxine) oder als Besiedler menschlicher Atemwege (Soorpilz), sondern auch technologisch nützlich (Käsebereitung, Bäckerei, Braugewerbe, Antibiotika (Penizillin) usw.). Ihre Bescheidenheit in Ansprüchen an Nährmedien, auch mit geringem Wassergehalt (um 15 %), und die Verbreitung durch asexuelle Sporen, selbst durch schwache Luftströmungen, macht sie so ubiquitär, dass sie kaum in einer Luftprobe im Freien und im Oberflächenwasser fehlen. Ihre Vegetation mit Mycel (Hyphen) mit mittlerem Durchmesser von  $2 \times 10 \mu\text{m}$  ist großflächig auf Nahrungsmitteln aller Art, selbst im Kühlschrank zu sehen.

Die Größenordnung abwärts von den „Bakterien“ führt zur lichtmikroskopischen Auflösungsbeschränkung bei  $0,1 \mu\text{m}$  (siehe Abb. 2)

Die schon genannten Rickettsien haben nicht wie Bakterien ein selbständiges Leben, vermehren sich aber mit eigenen Stoffwechselfvorgängen nur in lebenden Zellen, sind also „obligate Parasiten“. Sie entwickeln sich in gleicher Weise in Insekten, von denen sie auf Tier und Mensch beim Blutsaugen übertragen werden, z. B. Fleckfieber (= Rickettsien) von Kleiderläusen.

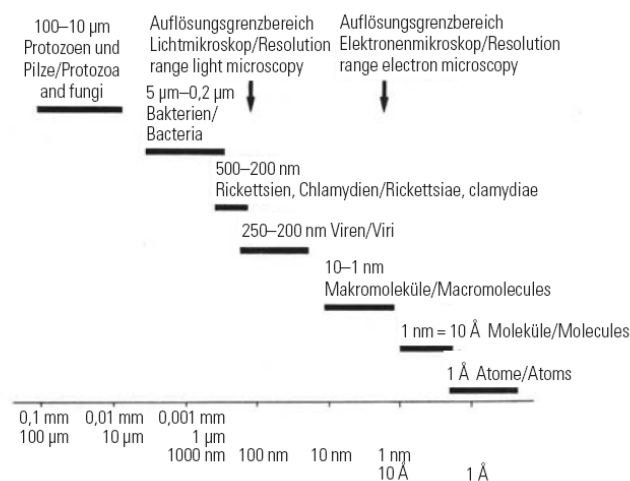
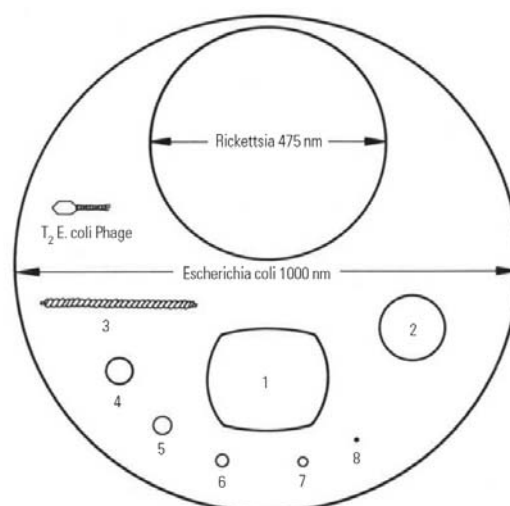


Abb 2. Größenordnung der Mikroorganismen, Viren und Moleküle (nach E. Wiesmann)

Auch die Chlamydien sind nur in Versuchstieren oder Zellkulturen von Säugetieren vermehrungsfähig; infolge ihres Aufbaus (sie enthalten Ribonukleinsäure (RNA) und Desoxyribonukleinsäure (DNA)) sind sie auch deutlich von den „Viren“ abzugrenzen. Mykoplasmen können – vereinfacht dargestellt – als „Bakterien ohne Zellwand“ beschrieben werden. Sie können sich jedoch im Gegensatz zu den Rickettsien und Chlamydien auf oder in geeigneten, künstlichen Nährmedien vermehren.

„Viren“ sind dagegen kleinste Teilchen, also keine „Organismen“, mit fehlendem Eigenstoffwechsel und Abmessungen von 300 nm (z. B. Pockenvirus) bis herunter zu 20 nm (z. B. Polioviren). Sie sind also z. T. von ähnlichen Abmessungen wie sog. Makromoleküle, die ja ebenfalls elektronenoptisch dargestellt werden können. Die Viren dringen in – für die jeweilige Virusart geeignete (disponierte) – lebende Zellen (sog. Zellkulturen) ein. Ihre Anwesenheit in einer lebenden Zelle verursacht eine Stoffwechselentgleisung, die zur Reduplikation der Teilchen bis zu  $10^4$  in einer Zelle führen kann. Durch diesen Vorgang tritt beim befallenen Lebewesen Krankheit ein. Diese Vorgänge im Zellsystem eines Makroorganismus lassen sich auch in künstlichen Zellkulturen gut verfolgen. Darauf beruht die Herstellung von Impfstoffen, z. B. in Affen-Nierenzellen, Eihäuten usw. zur Prophylaxe von Viruskrankheiten. Auch Bakterien können von Viren befallen werden. Diese Viren, sog. Phagen, vermehren sich im Bakterium und lösen es auf.



- |                           |                                 |                  |
|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 Vaccinia 260 x 210 nm   | 2 Herpes simplex 130 nm         | 3 Tobacco Mosaic |
| 4 Equine Encephalitis     | 5 Poliomyelitis                 | 6 Yellow Fever   |
| 7 Japanese B Encephalitis | 8 Molecule of egg albumin 10 nm |                  |

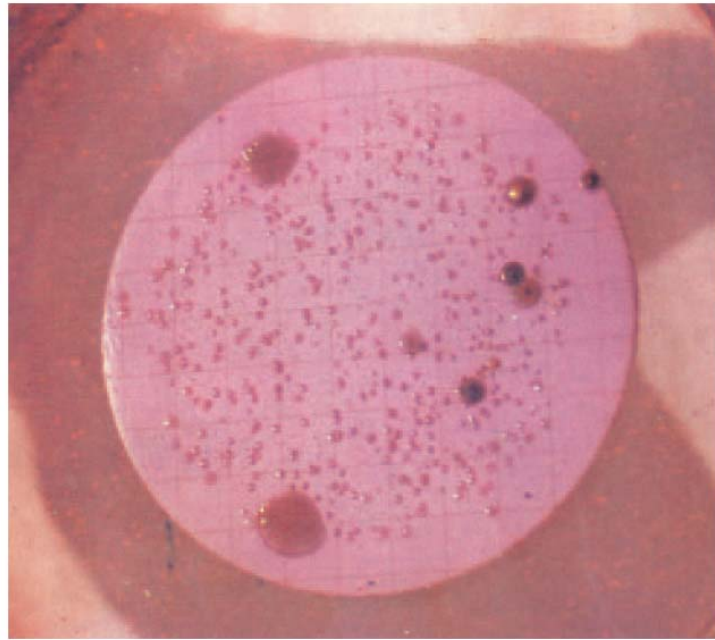
Abb 3. Größenvergleich Bakterien – Rickettsien – Viren große Moleküle. Das kleine zylindrische Stäbchen E. coli wurde quer durchgeschnitten (Durchmesser 1000 nm = 1  $\mu$ m). In den so entstandenen Kreis sind Rickettsien und Viren in annähernd gleichem Maßstab eingezeichnet – schematisch auch die Form von Viren (T<sub>2</sub>E.coli Phage, Tabak-Mosaik-Virus, Pockenimpfstoffvirus. Nach Rivers und Horsfall „Viral and Rickettsial of Man“), J. B. Lippincott Co., Philadelphia; mod. von M. Frobisher und R. Foerst in „Microbiology in Health and Disease“, 13. Aufl., W. B. Saunders Co., Philadelphia – London – Toronto 1973.

Bakterien sind einzellige kleine Lebewesen (0,1 – 10 µm), ohne echten mit Membran umgebenen Zellkern. Sie leben und vermehren sich in und außerhalb von höheren Organismen in sog. Kulturen. Die Vermehrung geschieht ungeschlechtlich durch Querteilung und entspricht einer geometrischen Progression, d. h. die Zellzahl N ist nach n-Teilungen auf  $N_0 \times 2^n$  angewachsen. Die Teilungsrate während der exponentiellen Wachstumsphase ist eine für jede Bakterienart spezifische, aber milieuabhängige Größe, z. B. für E. coli bei 37 °C alle 15-20 min. Die Bakterien kommen – übrigens auch die Viren – in verschiedenen Formen vor, und haben, ebenso wie alle tierischen und pflanzlichen Zellen, einen Stoffwechsel (= Gesamtheit der chemischen Reaktionen für Aufbau und Ausscheidung), der sie als echte Organismen kennzeichnet.

Zellwand und Zytoplasmamembran regeln den Stoffwechsel der Bakterienzelle. Die Zellwand sichert überdies die Form. Nach Behandlung von Bakterienarten mit Anilinwasser – Gentianaviolett – und Jod – Jodkaliumlösung geben manche Arten an Alkohol diesen Farbstoff ab (= gramnegativ) bzw. halten in fest (= grampositiv). Die Gramfärbung (genannt nach Entdecker Gram) ist ebenfalls durch die unterschiedliche Struktur der Zellwände bedingt. Auch bei künstlichen Einwirkungen auf die Bakterien (Desinfektion u. Sterilisation ) treten artbedingt ganz erhebliche Unterschiede auf.

Zur künstlichen Vermehrung werden flüssige und halbfeste Nährmedien (Gallerten) eingesetzt. In Nährlösungen ist die Vermehrung an einer Trübung (ab. ca.  $10^8$ /ml) mit bloßem Auge zu erkennen. Auf den Nährböden kommt es zur „Koloniebildung“, aus jedem einzelliegenden vermehrungsfähigen Keim. In Abhängigkeit von der Vorbereitung des auszusäenden Stoffes und der Methode der Aussaat gelangen meist nicht einzelne Keime, sondern unterschiedlich große Keimanhäufungen verteilt auf den Nährboden. Durch Vermehrung dieser Keimdeponien kommt es zu mit den Augen sichtbaren „Kolonien“. Da man also nicht weiß, ob eine solche Kolonie aus einem Keim oder mehreren Keimen entstanden ist, spricht man beim Zählen dieser Kolonien z. B. auf einer Nähragaroberfläche, nicht mehr von Keimzahlen, sondern von Koloniezahlen bzw. von koloniebildenden Einheiten (= KBE).

a)



b)



Abb 4. Kulturen von Bakterien: a) Membranfilter auf Endo-Agar mit einigen *E. coli*-Kolonien. b) Kolonien auf Blutagar, z. T. strichförmig zusammengeschlossen nach Beimpfung mit einer Kokken-Reinkultur, einzelne Kolonien oben links Mitte.

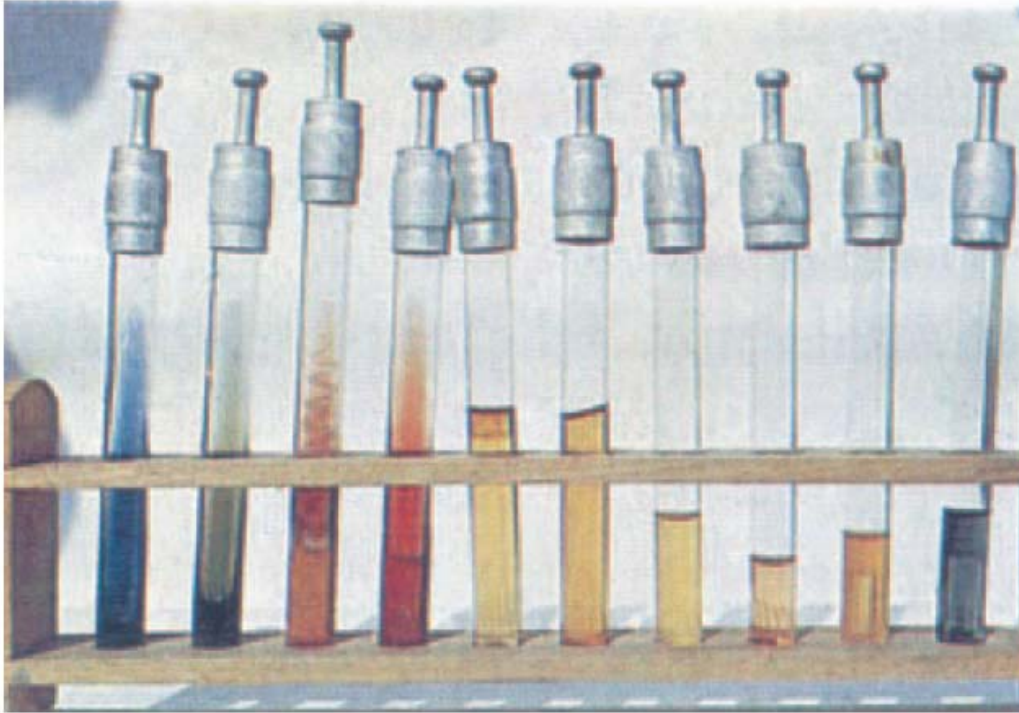


Abb 5. Übertragung auf eine bunte Reihe, d. h. Beimpfung von Nährmitteln, denen Indikatoren zugegeben wurden, mit Reinkulturen. Farbänderungen zeigen an, ob bestimmte zugesetzte Stoffe, z. B. Zucker, Eiweiß usw., von den eingepfimpften Bakterien bei ihrer Vermehrung umgesetzt wurden. Wichtig für die Diagnose der Gattungen bzw. Arten. Von links nach rechts: 4 Nährböden mit schräg erstarrtem Agar, 2 Nährböden mit Agar zylindrisch erstarrt, im ersten Röhrchen oben durch Verfärbung das Wachstum zu erkennen. 4 Nährflüssigkeiten z. T. mit Gärröhrchen zum Nachweis der Zuckerzerlegung ( $H_2$ ;  $CO_2$ ).

Natürlich kann man mit Hilfe von Zählkammern Keime in einem flüssigen Milieu zählen, kann aber dabei nicht feststellen, welche tot oder vermehrungsfähig sind.

Die Vermehrung der Bakterien erfolgt in spezifischen Temperaturbereichen optimal, teils mit, teils ohne Zutritt des Luftsauerstoffs. Die Bakterienarten können, wenn man so will, nach ihrer „Lieblingstemperatur“ in psychophile, die unter  $20 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  wachsen, in mesophile, die zwischen  $20$  und  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  gedeihen und in thermophilen, die von  $45 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  vermehrungsfähig sind, eingeteilt werden.

Fast alle Krankheitserreger der Warmblüter, also auch die des Menschen, gehören zu den mesophilen Arten. Die des Menschen haben ein Optimum von  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; sie bilden dann bei dieser Bebrütungstemperatur in oder auf geeigneten Nährmedien nach  $24 - 48$  h sichtbare Kolonien. Jede Kolonie ist also das Ergebnis der geometrischen Progression einer Vermehrung und enthält gewöhnlich ca.  $10^6 - 10^8$  einzelne Bakterien. Zum Nachweis von geringeren Keimzahlen in großen

Flüssigkeitsvolumina wird die Flüssigkeit durch Membranfilter gesaugt, anschließend erfolgt der Nachweis vermehrungsfähiger Keime durch Kultur dieser Filter auf Nährböden (Abb. 4a ). In diesem Fall gelangen die Nährstoffe durch Diffusion zu den Keimen.

Neben der unterschiedlichen Färbbarkeit mit Anilinfarbstoffen und der durch die Arten bestimmten Morphologie (grob: Kugeln = Kokken, zylinderförmige Stäbchen = Bakterien, schraubenförmige Stäbchen = Spirillen), verwendet man zu diagnostischen Zwecken u. a. die Fähigkeit der Bakterien, bestimmte Stoffe als Energiequellen verwerten zu können. Dies geschieht einerseits durch Kultivierung des Ausgangsmaterials gezielt auf besonderen Selektivnährböden zur Gewinnung von Reinkulturen und/oder andererseits in jeweils gesonderten Prüfungen, welche Stoffe die Bakterien als Energiequellen verwerten können, Hierbei wird geprüft, ob die Keimart, d. h. ihre Reinkultur mit Hilfe von Fermenten diese Stoffe, z. B. Eiweiß, Zucker, spalten kann und welche Spaltprodukte entstanden sind. Auch Synthesen – nicht nur die der Bakterienzellen selbst – sind wichtig, sondern auch solche von Ausscheidungen im Stoffwechsel, z. B. die Schleimbildung als Schutz gegen Austrocknung oder die Absonderung stärkster Gifte für Mensch und Tier (z. B. Tetanusgift). Zu diesen Ausscheidungen im Stoffwechsel gehören auch die sog. Antibiotika, die für die Konkurrenzfähigkeit im Lebensraum einer Art maßgebend sind und für therapeutische Zwecke gewonnen werden.

Die Identifikation geschieht weiter z. B. bei Salmonellen durch serologische Verfahren – diese Spezies-Diagnose ergab bereits über 2000 Arten.

Hinsichtlich des Verhaltens der Keime in der Außenwelt nur einige Hinweise: Sie besitzen eine artspezifische Resistenz gegen Umwelteinflüssen (Austrocknung, Strahlung, Temperatur, Ionengehalt der umgebenden Flüssigkeit). Zum Beispiel sterben die meisten gramnegativen Darmbakterien bei Austrocknung relativ rasch ab. Andererseits gibt es aber auch Keime bzw. Wachstumsformen, deren kultivierbare Menge sich bei Trocknung nicht wesentlich vermindert. Auch bei künstlichen Einwirkungen auf die Bakterien (Desinfektion, Sterilisation) treten artbedingt ganz erhebliche Unterschiede auf. So sind die nicht Dauerformen

(Sporen) bildenden gramnegativen Bakterienarten meist widerstandsfähiger gegen Desinfektionsmittel als grampositive.

Zahlreiche grampositive Bakteriengattungen, u. a. alle Clostridien, bilden Sporen. Bakteriensporen sind im Gegensatz zu den Pilzsporen keine Vermehrungsorgane, sondern Dauerformen einer vegetativen Zelle. Sporen entstehen, genetisch verankert, insbesondere durch bestimmte Ernährungsmängel, die die vegetative Vermehrung durch einfache Querteilung der Zelle stören. Sporen und Sporenbildner sind weit verbreitet („ubiquitär“) z. B. in Oberflächenwasser (20-200/ml), in menschlichen und tierischen Fäkalien, in der Erde, somit auch im Staub und auf allen unseren Pflanzen. Ihre Thermoresistenz, z. B. gegen stundenlanges Kochen, sogar 20-30 min lang gegen gespannten, gesättigten Dampf von 120 °C, ihre Widerstandsfähigkeit gegen osmotischen Druck, Austrocknung, chemische Stoffe, Strahlen, wird auf die extreme Wasserarmut der Sporen und die Einkapselung des Zytoplasmas mit 6 elektronenoptisch feststellbaren Hüllen zurückgeführt.

Da die Sporen, pathogene (Tetanus, Gasbrand usw.) und apathogene (Bac. subtilis, Bac. cereus, Bac. mesentericus, Bac. putrificus usw.), in der Natur weit verbreitet sind, hat die medizinische Technik, einschl. der pharmazeutischen und Konservenindustrie auch heute noch, trotz erheblicher Investitionen, Sterilisationsprobleme.

### 1.3 Legionellen

Legionellen sind Umweltbakterien, die sich ausschließlich im Wasser vermehren und als schwerste Erkrankungsform die Legionärskrankheit, eine schwere Lungenentzündung, verursachen. Die Infektion erfolgt vorwiegend durch Inhalation von Aerosolen.

Daneben wird ein grippeähnliches Krankheitsbild, das sogenannte Pontiac-Fieber, verursacht. Die Lungenentzündung, etwa in 1 bis 5 % aller Pneumonien, wird infolge der Schwere der Erkrankung relativ häufig diagnostiziert. Hochgerechnet ca. 10 mal häufiger als die Lungenentzündung ist das relativ unspezifische Pontiac-Fieber zu kalkulieren. Völlig ohne klinische Symptome gibt es, aber auch geschätzt 10-fach häufiger als das Pontiac-Fieber, die Ausbildung von Antikörper.



Abb. 6: Die Kultivierung von Legionellen ist nicht auf den normalen Standardnährboden möglich. Auf spezifischen Nährböden –hier BCYE – bilden Legionellen charakteristische Kolonien.

Derzeit sind in der Familie der Legionellaceae zumindest 50 Species mit 70 Serogruppen bekannt. Am häufigsten ist *Legionella pneumophila*, insbesondere Serogruppe 1, sowohl in Umweltisolaten, wie auch bei klinischen Isolaten vertreten. Aus Epidemien wurde schlussgefolgert, dass von den exponierten Menschen etwa 1 % erkranken. Eine Übertragung von infizierten Personen auf andere ist nicht bekannt.

Die vielschichtigen Fragen sind auf unterschiedliche Virulenz der Legionellen, die Vermehrung in Protozoen und den darauf abgestimmten Stoffwechsel, sowie die Startzahl bei einer Infektion und damit auch die Abwehrlage infizierter Personen zurückzuführen.

Aufgrund der unterschiedlichen oder sogar fehlenden Krankheitsbilder und der dadurch bedingten zu seltenen Diagnosen repräsentieren die gemeldeten Zahlen an Erkrankungen nur einen kleinen Teil der insgesamt Erkrankten.

Legionellen kommen auch in Kaltwasser vor, infolge Beschleunigung des Stoffwechsels sind aber in erwärmtem (ideal 30 – 45 °C ) und meist stagnierendem Wasser erhöhte Keimzahlen auffälliger.

Somit sind gerade in technischen Bauwerken, aber auch in den verschiedenen Formen der Wellness- und Thermaleinrichtungen Risikobereiche mit erwärmtem stagnierendem Wasser von Bedeutung.

Als wesentliche Stellen der Keimvermehrung von Legionellen sind auch Leitungssysteme in Häusern hervorzuheben. Insbesondere bieten hier Endstränge mit stagnierendem Wasser sowie Zirkulationsleitungen, unterstützt von Korrosion, Stellen mit idealen Vermehrungsbedingungen.

Aufsehenerregend sind Epidemien mit einer großen Anzahl an Erkrankten und seltener kleine Häufungen, jedoch zahlreicher am höchsten sind sporadische Einzelerkrankungen. Infolge der Gruppe mit reduzierter Abwehrlage werden Krankenhausinfektionen getrennt analysiert, zum Unterschied von den reiseassoziierten Erkrankungen, welche natürlich ein Indikator dafür sind, dass die Erkrankung in Hotels und Wellnesseinrichtungen häufig im Ausland ihren Ausgang genommen hat.

Bezüglich der hier zur Diskussion stehenden Problematik von Kühlanlagen ist hervorzuheben, dass es bislang keine Publikation über Epidemien aus derartigen Kühlanlagen von Kraftwerken gibt.

Hier muss aber auch klargestellt werden, dass kleine Rückkühlanlagen, wie sie teilweise unter nicht akzeptablen Bedingungen auf Werkstätten, bei Hotels, bei

Büroanlagen „unkontrolliert“ betrieben werden, im englischen unpräzise auch als „cooling tower“ übersetzt sind und daher fälschlicherweise diese Ereignisse ausgehend von diesen Anlagen auf Großkühltürme von Kraftwerken übertragen werden. Daher wäre bei diesen Rückkühlanlagen dringend die Forderung nach Kontrolluntersuchungen und Überwachung durch Gesundheitsämter zu unterstützen. In Großstädten ist eine Gefährdung über Emission aus solch kleinen Rückkühlanlagen nicht ausgeschlossen. In einen Übergangsbereich bezüglich des Risikos sind aber auch kleine, nicht überwachte Kühlanlagen der Industrie einzuordnen.

*Pseudomonaden* und *Aeromonaden* in Trinkwassersystemen sind als Indikator, zumal sie keine besonderen Nährmedien benötigen, für ein Risiko im Trinkwassersystem heranzuziehen.

## **2.0 Bewertung der Anlagevarianten**

### **Variante A: Vorhabensvariante:**

Am Kraftwerkstandort Staudinger/Großkrotzenburg, Hessen, ist der neue Block 6 als Steinkohle-befeuertes Block geplant. Er soll in Grundlast also in kontinuierlichem Betrieb gemeinsam mit Block 5 gefahren werden. Der ebenfalls vorhandene erdgasbefeuerte Block 4 dient ausschließlich der Abdeckung von Spitzenlast. Nach Inbetriebsetzung des Blockes 6 sollen die derzeit betriebenen Blöcke 1 und 3 sowie der gegenwärtig in Kaltreserve befindliche Block 2 stillgelegt werden. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Blöcke 1 bis 3 im Regelfall mit Durchlaufkühlung betrieben werden, das Kühlwasser also vollständig dem Main entnommen und nach dem Kühlprozess in den Vorfluter zurückgeführt wird. Die Blöcke 4 und 5 werden mit Kreislaufkühlung betrieben. Wenn Block 6 die Blöcke 1 bis 3 ersetzt, so ist insgesamt eine thermische Entlastung des Main gegeben.

Der Kühlturm ist als Naturzug-Nasskühlturm, in dem die zuvor in einer Rauchgasreinigung (Denox, E-Filter, REA) behandelten Rauchgase eingeleitet werden. Auf diese Weise sollen die restlichen Rauchgase nach der REA durch den Schwaden mit dem erhöhten thermischen Auftrieb der Abgase freigesetzt werden. Von den vielfältigen Konstruktionen von Nasskühlanlagen ist aus medizinisch-hygienischer Sicht der Naturzug-Nasskühlturm zu bevorzugen.

Durch diese Konstruktion sind keine mechanischen oder beweglichen Einbauten wie z.B. Ventilatoren oder ähnliches erforderlich, welche Ausgangspunkt von sekundären Keimvermehrungen sein können. Hervorzuheben ist die durch die Höhe der Kühlturmkrone, hier geplant 180 m über Grund, vorgegebene Höhe der Emissionsquelle, welche durch den thermischen Auftrieb des Schwadens in Abhängigkeit von der Temperatur zu einer deutlichen Überhöhung der Abgasfahne führt.

Wie bereits oben erwähnt ist mit einem Keimaustrag nur durch die mitgerissenen Tröpfchen aus dem Kreislaufwasser oberhalb des Tropfenabscheiders zu rechnen. Die Quellhöhe erweist sich mit 180 m über Grund auch als vorteilhaft, weil praktisch nicht von einer bodennahen Schwadentransmission auszugehen ist, was bei niedriger Bauweise durchaus zu beachten wäre.

In den zahlreichen mikrobiologischen Untersuchungen des Keimgehaltes bei Betrieb an vergleichbaren Naturzug-Nasskühltürmen (also alle nachgewiesenen Mikroorganismen) wurden  $8,3 \times 10^3$  bis  $9,8 \times 10^3$  KBE pro  $m^3$  Schwaden nachgewiesen.

Zu berücksichtigen ist dass die Keime im Schwaden auf dem Weg von oberhalb des Tropfenabscheiders bis zur Kühlturmkrone derartiger Konstruktionen einem natürlichen Absterbevorgang unterliegen, so dass die koloniebildenden Einheiten um  $1 \log_{10}$  bis  $1,5 \log_{10}$  Einheiten reduziert werden

Derartige Emissionswerte im Schwaden führen nach Transmission nicht zu messbar erhöhten Immissionswerten. wenn bereits als die natürliche Hintergrundbelastung in Bodennähe Werte bis zu  $9 \times 10^3$  KBE/ $m^2$ , u.a. je nach Klimagegebenheiten, messbar sind (KBE= kolonienbildende Einheiten).

Die minimalen Mengen an fakultativen Krankheitserregern im Main lassen keine Umrechnung für eine Risikoanalyse durch den Schwaden zu.

Hingegen müssen auch bei einer derartigen Konstruktion *sekundäre Keimvermehrungen* an ausgewählten Stellen nach dem Stand des Wissens und der Technik verhindert werden. Auf spezifische Risiken durch Konstruktion und Betriebsarten von Rückkühlanlagen in Kraftwerken, aber auch durch kleine „Geräte“ zur Kühlung von einzelnen Räumen wurde in diversen Publikationen (Pietsch, M., W. Spielmann und H.-P. Werner: Vorkommen von Legionellen in Wasserkreisläufen von Rückkühlanlagen – Hyg+Med. 13(1988) 229-232; Werner, H.-P. und M. Pietsch: Bewertung des Infektionsrisikos durch Legionellen in Kühlkreisläufen von Kraftwerken – VGB Kraftwerkstechnik 71(1991) 785-787; Werner, H.-P.: Vorkommen und Bedeutung von Legionellen in Kraftwerkskühlssystemen – Sch.-Reihe Verein WaBoLu 72 (1987) 147-153) verwiesen.

Daher ist auch die Oberflächenbeschaffenheit auf der Innenseite des Naturzug-Nasskühlturms von besonderer Bedeutung. Die Kühlturmschale wird aus Beton mit erhöhtem Widerstand gegen Säureangriff ohne Einsatz einer Beschichtung hergestellt. Die Bemessung und Ausführung der Stahlbetonarbeiten, insbesondere die erforderliche Mindestbetonüberdeckung der Bauteile, erfolgt gemäß der Normenreihe DIN 1045 DIN EN 206-1 und der VGB-Richtlinie VGB-R 610 U (Fassung 2005). Zur Begrenzung der Rissbreite wird Abschnitt 11.2.2 der DIN 1045, Teil 1 beachtet. Dennoch auftretende Risse von  $> 0,2$  mm sowie alle Feuchtigkeit

führenden Risse werden mit geeigneten Füllmaterial gemäß ZTV-ING Teil 3, Abschnitt 5 ausgepresst. Die Innen- und Außenseite der Kühlturmschale wird so hergestellt, dass keine Poren, Lunker und Grate verbleiben, deren Winkel zur Kühlturmschalenfläche größer als 45 ° sind, damit kein Wasser bzw. Kondensat in den Poren verbleibt. . Auf diese Weise wird verhindert , dass es zu einer Adsorption von Algen und Mikroorganismen mit dem Risiko der großflächigen Ausbildung von Belägen, insbesondere an der Taille des Kühlturms kommt.

Da der Block 6 im Grundlastbereich betrieben wird, sind Stillstandzeiten, bei denen anhaftende Beläge austrocknen und auf die Tropfenabscheider fallen und diese großflächig bedecken könnten, ebenfalls nicht zu besorgen, so dass sich auch hierdurch keine spezifischen Mikroorganismen vermehren und in erhöhtem Keimgehalt im Schwaden ausgetragen werden.

Die geplante Konstruktion des Kühlturms , sowie Betriebsart insbesondere der KZA gewährleisten, dass über die Kühlanlage keine relevanten mikrobiologischen Emissionen über den Schwaden freigesetzt werden. Somit kann nach Transmission und Immission also auch keine Gefährdung von Menschen in der Umgebung sowie eine Belastung des Vorfluters über das Abschlammwasser verursacht werden. Nachteilige gesundheitliche Auswirkungen durch gesundheitsschädliche Agentien (Legionellen, Kühlwasserbeimischungen) in den Kühlturmschwaden sind nicht zu erwarten

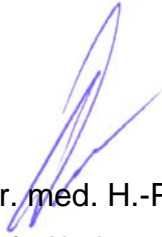
### **Variante B: Vergleichsvariante GuD-Kraftwerk:**

Diese Alternative unterscheidet sich nicht im Grunde nach von der Vorhabenvariante , außer durch die Befuerung mit Erdgas anstelle von Steinkohle. Zudem wird das Rauchgas nicht in den Kühlturm eingeleitet, sondern über separate Schornsteine in die Atmosphäre abgeleitet. Ohne auf die Frage der technischen Einzelheiten einzugehen, ist hier festzustellen, wie bereits oben erwähnt, dass mit der Nutzung eines höheren Naturzug-Nasskühlturms im reinen kontinuierlichen Kreislaufbetrieb nach dem Stand des Wissens hygienisch der vorteilhafteste Betrieb zu erzielen ist.

### **Variante C: Nullvariante:**

Bei dem weiteren Betrieb der bestehenden Blöcke 1, 2 und 3 wären auch technisch und hygienisch vertretbare Kühlsysteme und Betriebsarten neu zu planen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aus hygienischer Sicht das derzeitige Planungsvorhaben somit gegenüber allen anderen Varianten zu bevorzugen ist.



Prof. Dr. med. H.-P. Werner

Facharzt für Hygiene und Mikrobiologie